# Der Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden

Mit 1 Abbildung im Text

---

## Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Philosophischen Fakultät der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

**Karl Schönewald**
aus Marburg

Marburg 1933

---

Johann Ambrosius Barth / Leipzig

Referent: Herr Professor Dr. E. R. Jaensch

als Dissertation angenommen: 6. Juli 1931

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Juli 1931

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig in der
*Zeitschrift für Sinnesphysiologie,* Bd. 63, Heft 6 (1933)

# Untersuchungen über das Purkinjesche Phänomen bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden mittels durchleuchteter Farben und Pigmentfarben

Mit 1 Abbildung im Text

## Inhaltsverzeichnis


Seite

I. Kapitel: Der Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens . 285
II. Kapitel: Das Purkinjesche Phänomen bei durchleuchteten Farben und bei Pigmentfarben . . . . . 291
III. Kapitel: Beiläufige Ermittlungen . . . . . 297
Zusammenfassung . . . . . 304


### I. Kapitel

### Der Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens

Über den Vorgang, der sich beim Sehen abspielt, wissen wir auch heute kaum mehr, als daß das Licht in den Außengliedern der Stäbchen und Zapfen der Netzhaut in Nervenerregungen umgesetzt wird, daß diese über den langen Weg der Sehbahn wiederum im Zentralnervensystem Erregungsprozesse (psychophysische Prozesse) auslösen müssen, mit denen Bewußtseinsvorgänge, zu denen auch die Farbenempfindungen gehören, verknüpft sind. Der Lichtreiz ist der Messung, die ausgelöste Empfindung der Beobachtung zugänglich. Welcher Art aber die zweifellos ungeheuer mannigfaltigen Vorgänge in der Sehsubstanz sind, ist uns

noch immer verborgen, und nur spärliche Zeichen sind es, die uns davon Kunde geben. Alle näheren Vorstellungen über die Substrate der Farbenempfindungen und das Wesen der Vorgänge reichen in das Gebiet der Hypothese.

Bei unseren folgenden Untersuchungen wollen wir unvoreingenommen an die Erscheinungen herantreten und uns nicht von einer Theorie leiten lassen.

Im allgemeinen war das Sehorgan immer nur als eine periphere Einrichtung betrachtet worden, die, abgelöst von der gesamten psychophysischen Organisation, ein isoliertes Dasein führte. Wenn wir an den Anfang eine Hypothese stellen, so ist dies keine Blickbehinderung bei der Untersuchung, sondern die kurze Formulierung eines Schlußergebnisses, das allerdings unter Leitung einer als Vermutung aufgestellten Arbeitshypothese gewonnen war.

Unsere Hypothese erwächst aus der Tatsache, daß das Auge genetisch aus dem Hirn stammt [1], und die Hypothese geht dahin, daß das Sehorgan doppelten Charakter tragen muß: einen peripheren als Rezeptionsorgan und einen zentralen als vorgeschobener Gehirnteil, denn anatomisch zeigen Retinazellen und Gehirnzellen gleiche Konstitution.

Im Bisherigen wurde unter „Auge" nur das an der Peripherie erfindliche Organ einschließlich des Sehnerven verstanden. „Aber selbst wenn man den Begriff in dem von E. Hering eingeführten beweiterten Wortsinn gebrauchen wollte und die am Sehakt mitbeteiligten zentralen Adnexe mit einbegriffe, würde man sich mit jener Auffassung des „Auges" als eines reinen Leitungs- und Aufnahmeorgans mit vorherrschenden Anschauungen im Einklang finden".[2] Die Organologie des Auges betrachtet aber das Auge als Organ, d. h. als ein Gebilde, das zwar aus verschiedenen Elementen aufgebaut ist, aber doch eine funktionelle Einheit darstellt, und sich zugleich der höheren Einheit des Organismus unterordnet.

Unsere Hypothese ist, daß das Auge den doppelten Charakter eines peripheren und zentralen Organs trägt, und wir wollen am Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden untersuchen, inwieweit die Gesichtsempfindungen abhängig sind von der Einschaltung jüngerer oder älterer Reaktionsschichten, und in welchem Maße das Rezeptionsorgan in Korrelation mit den Funktionsschichten steht.

[1] E. R. Jaensch, Aufbau der Wahrnehmungswelt. 2. Aufl., Teil I, S. 416ff.
[2] Ebenda, S. 428.

Als Ertrag der experimentellen Arbeiten des Marburger Instituts zur Denkpsychologie hat sich ergeben, daß das Denken ein Schichtensystem darstellt. Namentlich aber auch schon in den eidetischen Untersuchungen ist die Schichtenstruktur unserer psychophysischen Organisation deutlich erkennbar geworden, da diese Untersuchungen den eingehenden Nachweis erbracht haben, daß das Gedächtnis einen stufenförmigen Aufbau besitzt. In den materiellen Korrelaten des Bewußtseins haben wir dieselbe Schichtenstruktur, und zwar hat L. Edinger hervorgehoben, daß das ursprünglich Vorhandene in der Hirnentwicklung durch neu Hinzukommendes überbaut wird, das Frühere also im Späteren fortexistiert. Von großem Interesse ist nun, daß die Schichtenstruktur, die sich im höherseelischen Geschehen findet, auch in das elementare Gebiet der Sinnesempfindungen hinabreicht.

Die Arbeiten von Broer [1] und von E. R. Jaensch und Stallmann [2] lassen mit Notwendigkeit die Folgerung ziehen, daß wir es im Bereich der optischen Empfindungen mit zwei Funktionsschichten zu tun haben: mit einer jüngeren und einer älteren. Die primordialen Schichten sind in Wirksamkeit, wenn die Erscheinungen des Purkinjeschen Phänomens auftreten. Broer sagt: „Das Purkinjesche Phänomen ist eine Rückkehrerscheinung zu einer primitiven Stufe des Sehens."

Die Einschaltung primordialen Sehens ist eingetreten:

1. Bei Begünstigung der Helligkeit der kurzwelligen Lichter;
2. bei Begünstigung des Bewegungssehens als der dieser Schicht besonders eigentümlichen Form der räumlichen Wahrnehmung.

Wir haben Einschaltungen höherer Schichten des Sehens:

1. Bei Begünstigung der Helligkeit der langwelligen Lichter;
2. bei Begünstigung des Formensehens als der dieser Schicht besonders eigentümlichen Form der räumlichen Wahrnehmung.

Nach den angestellten Versuchen setzt sich die dem primordialen Sehen besonders eigentümliche Art räumlicher Wahrnehmung, das Bewegungssehen, leicht durch

[1] F. Broer, Das Purkinjesche Phänomen im Nachbild. *Z. Psychol.* **113**, 71 (1929).

[2] E. R. Jaensch und W. Stallmann, Beiträge zur Frage der Funktionsschichten im Sehen mit besonderer Rücksicht auf das Purkinjesche Phänomen. *Z. Psychol.* **106**, 129 (1928).

1. im blauen Licht im Vergleich zum roten Licht;
2. im seitlichen Sehen im Vergleich zum direkten Sehen;
3. bei gedämpftem Licht im Vergleich zum ungedämpften Licht.

Umgekehrt setzt sich die dem höheren Sehen besonders eigentümliche Art räumlicher Wahrnehmung, das Formensehen, leicht durch

1. im roten Licht im Vergleich zum blauen Licht;
2. im direkten Sehen im Vergleich zum seitlichen Sehen;
3. im ungedämpften Licht im Vergleich zum gedämpften Licht.

Es ergibt sich, daß sich im blauen Licht das primordiale Sehen stärker durchsetzt als im roten Licht, und daß sich im roten Licht die höheren Schichten stärker durchsetzen als im blauen Licht. Es steht dies im Einklang damit, daß das Purkinjesche Phänomen auf einer stärkeren Einschaltung primordialer Funktionsschichten beruht; denn auch im Purkinjeschen Phänomen haben wir ein stärkeres Hervortreten des kurzwelligen Lichtes.

Wie Jaensch und Stallmann festgestellt haben, dient die vom Purkinjeschen Phänomen abweichende Helligkeitsverteilung des Tagessehens den Anforderungen des Formen- und Deutlichkeitssehens. Ein schwerwiegender Beweis ist dadurch erbracht worden, daß dort gezeigt worden ist, daß bei der „Einstellung" des Sehorgans auf Formensehen die Helligkeitsverteilung im Sinne des Purkinjeschen Phänomens zurücktritt, daß also gleichzeitig mit dieser „Einstellung" auf Formensehen diejenige Reaktionsweise des Lichtsinns miteingeschaltet wird, die durch die vom Purkinjeschen Phänomen abweichende Helligkeitsverteilung gekennzeichnet ist.

Das Purkinjesche Phänomen tritt aber nicht allein in Wahrnehmungsbildern auf, auch die Anschauungsbilder und die Nachbilder zeigen eine Veränderung im Sinne des Purkinjeschen Phänomens, wie die Untersuchungen von E. R. Jaensch und F. Broer ergeben haben. Es hat sich dargetan, daß bei Verdunkelung des Raumes, d. h. Eintreten des Dämmerungssehens eine Farb-, Sättigungs- und Helligkeitsverschiebung bei den Nachbildern eingetreten ist, wenn sie im Hellen erzeugt wurden, und zwar war es eine Verschiebung, wie sie das Purkinjesche Phänomen bei Wahrnehmungsbildern aufweist. Diese Erscheinung trat auch ein, wenn die Vp. die Augen schloß und den Eindruck hatte, das Zimmer würde verdunkelt. Konnte sie sich dieses nicht vorstellen, so trat auch keine Änderung im Nachbild ein. Hier haben wir einen schönen Beweis dafür, daß bei Einschaltung

primordialer Schichten nicht nur die äußere Umstimmung in den Reizen zu erfolgen braucht, daß vielmehr auch zentrale Faktoren, deren Ursprung in den Vorstellungen oder in der Anschauung ruht, eine Einstellung auf andere Funktionsweisen erreichen können.

Ein anderer sehr wichtiger Punkt, im Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens ist von E. R. Jaensch [1] erörtert worden. Indem er die Energieverteilungskurve der Sonne mit den Zapfenkurven vergleicht, d. h. mit den Kurven, welche die Helligkeitsverteilung für ein helladaptiertes Auge in einem idealen Spektrum von konstanter Energie darstellen, sieht er, daß das Maximum der Zapfenkurven nicht mit dem Maximum der Intensitätskurven zusammenfällt, sondern ihm gegenüber nach dem langwelligen Ende zu verschoben ist. Ein Zusammenfallen wäre in der Tat nur dann zu erwarten, wenn sämtliche Lichtrezeptoren, auch die Zapfen, einzig und allein die Aufgabe hätten, das überhaupt vorhandene Licht bestmöglich auszunutzen. Neben dieser Aufgabe der Lichtausnutzung besteht aber für die Zapfen vor allem diejenige des deutlichen Formensehens, und sie erfordert eine stärkere Empfindlichkeit gerade für die langwelligen Strahlen. Die primordialen Lichtrezeptoren, die Stäbchen, dienen vor allem der allgemeineren und wenig differenzierten Aufgabe der Lichtausnutzung, und ihr Empfindlichkeitsmaximum liegt darum dem Intensitätsmaximum erheblich näher.

Von der Hypothese aus, wonach das sog. Dämmerungssehen nicht auf Formen- und Deutlichsehen angelegt ist, erklären sich auch noch andere bekannte Tatsachen, die wiederum diese Hypothese stützen. Hierher gehören namentlich die Untersuchungen von Piper [2] über die Unterschiedsschwellen im sog. Dämmerungssehen und Tagessehen. Piper stellte fest, daß die Unterschiedsschwellen bei der dunkeladaptierten Netzhaut in erheblichem Maße von der Flächengröße der dargebotenen Objekte abhängen, in dem Sinne, daß hier der Reizwert des Objektes mit der Flächengröße seines Netzhautbildes deutlich und nicht unerheblich zu- resp. abnimmt; bei der helladaptierten Netzhaut besteht dagegen diese Abhängigkeit der Unterschiedsschwellen von der Flächengröße nicht. Die größere Fläche sendet insgesamt mehr Licht ins Auge

[1] E. R. Jaensch, *Z. Psychol.* **106**, 222 (1928).

[2] H. Piper, Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bzw. Winkelgröße. *Z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **32**, 98 (1903).

und wird darum für einen Sehapparat, der wesentlich auf optimale Lichtausnutzung eingerichtet ist, besser gestellt sein, d. h. unter günstigeren Perzeptionsbedingungen stehen als die kleinere Fläche. Piper glaubt, daß die lichtperzipierenden Teile des Hell- und Dunkelauges auf verschiedene Art miteinander bzw. mit höheren Teilen der Sehbahn verknüpft sind, derart, daß im einen Falle durch Addition der benachbarte Elemente treffenden Lichtreize eine Verstärkung der Helligkeitsempfindung in die Wege geleitet werden kann, daß dies aber im anderen Falle kaum oder gar nicht erfolgt. Man braucht aber hier nicht, wie es Piper andeutet, an feste anatomisch-histologische Verknüpfungen zu denken; es werden wohl hier variable funktionelle Verknüpfungen in Betracht kommen, die durch Stimmungsänderungen des Auges ein- und ausschaltbar sind. Jedenfalls weisen die Piperschen Versuche wieder auf einen Sehapparat hin, der ganz wesentlich im Dienste der optimalen Lichtausnutzung steht.

Die Addition gleichzeitig an verschiedenen Netzhautstellen stattfindender Erregungen bei zweiäugiger gegenüber einäugiger Betrachtung des Dunkelauges[1] deutet wieder auf die optimale Lichtausnutzung des beim Dämmerungssehen eingeschalteten Sehapparates hin. Bei Helladaptation findet sehr geringe Addition statt; abstrahierend kann man sie gleich Null setzen.

Wenn wir nun zu unseren eigenen Versuchen über das Purkinjesche Phänomen bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden übergehen, so liegt die Methodik unserer Untersuchungen durch die vorangehenden Betrachtungen vor uns. Den Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens haben wir eben kurz umrissen, und unsere Aufgabe ist es nun, unsere Vpn. innerhalb dieses Symptomenkomplexes zu untersuchen.

Hier an dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. E. R. Jaensch meinen tiefgefühlten Dank aussprechen für die Anregung, die er mir zu meiner Arbeit gegeben hat, und für das Interesse, das er stets meinen Untersuchungen entgegengebracht hat. Ebenfalls möchte ich all den Herren und Knaben danken für ihre Bereitwilligkeit, mit der sie sich meinen Experimenten unterzogen haben.

Wenn wir uns im folgenden mit nicht normalen Farbensinnsystemen beschäftigen, so wollen wir nicht damit in den Streit

[1] H. Piper, Über das Helligkeitsverhältnis monokular und binokular ausgelöster Lichtempfindungen. *Z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **32**, 161 (1903).

der Nomenklaturen eintreten, auch wollen wir uns fernhalten von dem Problem: Farbenschwäche — Anomalie. Vielmehr möchten wir in der Terminologie alles dasjenige ausschalten, was an ihr bereits von Theorie enthalten ist.

Guttmann [1] behauptet die Identität von anomaler Trichromasie und Farbenschwäche, so daß alle Anomalen farbenschwach und alle Farbenschwachen anomal sind. Nagel [2] bestreitet dies. Wir wollen zu der Umkehrbarkeit oder Nichtumkehrbarkeit der Begriffe Anomaler und Farbenschwacher keine Stellung nehmen, daß aber der Farbensinn aller anomalen Trichromaten gegenüber dem der Normalen eine gewisse Reduktion und Minderwertigkeit aufweist, kann nach den Mitteilungen von Donders sowie nach den in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen wohl kaum mehr bezweifelt werden. Auch unsere Ergebnisse stehen mit dieser Behauptung in Einklang.

## II. Kapitel

## Das Purkinjesche Phänomen bei durchleuchteten Farben und bei Pigmentfarben

Unsere Versuche wurden im Sommer und Herbst vorigen Jahres vorgenommen in einem nach Süden gelegenen großen Zimmer mit vier Fenstern im Psychologischen Institut der Universität Marburg. Gute Helladaptation war durch die hellen Sonnentage verbürgt. Im Prinzip war die Versuchsanordnung so, daß bei guter Helladaptation ein Rot und ein Blau auf gleiche Helligkeit eingestellt wurden. Nach gleichmäßiger Verringerung der Intensität und Verdunkelung des Zimmers wurden die Farben wieder auf gleiche Helligkeit gebracht. Als Apparat zur Herstellung der durchleuchteten Farben benutzten wir einen großen Farbenmischapparat, der nach Angabe von Herrn Professor Dr. E. R. Jaensch hergestellt war. In vier Röhren laufen vier (Osramnitra) Lampen so auf Schienen, daß die jeweilige Stellung an einer außen angebrachten Skala (0 cm bis 100 cm) abgelesen werden kann. Die vier Lampen beleuchten zwei Felder, auf denen je zwei Farben gemischt werden können. Vor zwei untereinander liegende Röhren wurden nun ein blaues und ein rotes Glas geschoben, so daß das obere Feld blau, das untere rot erschien. Zur Verwendung kamen Farbenscheiben von annähernd gleicher Sättigung und Helligkeit. Die Stellung der Lampe für Rot war bei allen Versuchen gleich Null. Jetzt ließen wir bei guter Helladaptation die beiden Felder auf gleiche Helligkeit einstellen, was durch Verschiebung der Lampe für Blau zu erreichen

[1] Guttmann, Untersuchungen über Farbenschwäche. *Z. Sinnesphysiol.* **42**, 30 (1908).

[2] A. W. Nagel, Zur Nomenklatur der Farbensinnstörungen. *Z. Sinnesphysiol.* **42**, 65 (1908).

war. Die Vp. saß vor dem Apparat und schaute durch eine nach allen Seiten abgeschlossene schwarze Röhre nach den Feldern, jedoch nicht so, daß die Helladaptation gestört wurde. Nachdem die Helligkeitsgleichung hergestellt war, verdunkelten wir das Zimmer durch Herablassen der Jalousien. Die Verringerung der Intensität erfolgte auf die Weise, daß vor der schwarzen Röhre, durch welche die Vp. die beiden Felder sah, ein Episkotister mit hoher Umdrehungszahl rotierte. So hatten wir die Garantie, daß die Intensität der beiden Farben in gleichem Maße herabgemindert wurde. Wenn wir die Lampen im gleichen Verhältnis hätten zurückziehen wollen, wären wir auf große Schwierigkeiten gestoßen, weil die Anfangsstellung der Lampen bei den einzelnen Typen verschieden war.

Nun zeigte es sich aber bei zwei Protanomalen, daß unter diesen Umständen eine Helligkeitsgleichung bei Helladaptation nicht zu erreichen war, weil das Rot zu dunkel erschien, auch wenn die Lampe für Blau ganz

Tabelle 1

| Vpn. | Helligkeitsgleichungen von Rot und Blau bei | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Helladaptation | | | vor Blau | Dunkeladaptation | | | | vor Blau |
| | Rot | Blau | | | Rot | Blau | | | |
| | zentral und peripher | zentral | peripher | D | zentral und peripher | zentral | peripher | $\varphi$ | D |
| Zn. | 0 | 1 | 4 | | 0 | 63 | 92 | 4,5° | $(\frac{1}{2})^2$ |
| Sn. | 0 | 2 | 4 | | 0 | 32 | 53 | 18° | „ |
| Gn. | 0 | 2 | 3 | | 0 | 35 | 58 | 18° | „ |
| Dd. | 0 | 0 | 6 | | 0 | 39—43 | 60 | 18° | „ |
| Bd. | 0 | 1 | 4 | | 0 | 42 | 58 | 18° | „ |
| Ldp. | 0 | 0 | 4—5 | | 0 | 45 | 61 | 18° | „ |
| Dr.Ep. | 0 | 26 | 34 | $(\frac{1}{2})^2$ | 0 | 68 | 76 | 18° | „ |
| Sp. | 0 | 50 | 65 | | 0 | 19 | 33 | 10° | „ |
| Kp. | 0 | 30 | 41 | $(\frac{1}{2})^2$ | 0 | 64 | 71 | 18° | „ |

zurückgezogen (auf 100) war. Wir behoben diese Schwierigkeit, indem wir vor das Blau noch ein Diaphragma schoben, und zwar benutzten wir eine konstante Öffnung von $^1/_4$ qcm. Der Episkotister hatte, abgesehen von zwei Ausnahmen, eine konstante Winkelöffnung von 18 Grad. Die Helligkeitsgleichungen bei Hell- und Dunkeladaptation wurden bei zentralem und peripherem Sehen hergestellt. Abb. 1 illustriert den Versuch. Von Anfang der Dunkeladaptierung bis zur Messung bei Dunkeladaptation verging immer die Zeit von 3 Minuten. Tab. 1 enthält die Ergebnisse.

In der ersten Säule stehen die Vpn., und zwar bedeutet der Index n der normale Trichromat, der Index d bzw. dp bezeichnet einen Deuteranomalen bzw. Deuteranopen, und p bezeichnet einen Protanomalen.

Die verschiedenen Typen wurden zuerst mittels des Nagelschen Anomaloskops festgestellt. Die in Tab. 1 enthaltenen Säulen geben die Zahlen wieder, die auf Grund der Ablesung an der Skala gewonnen wurden. D bedeutet die Öffnung des vor das Blau geschobenen Diaphragmas, und $\varphi$ ist gleich der Gesamtöffnung des Episkotisters. Wenn wir zuerst die Differenz zwischen Rot- und Blaustellung bei Helladaptation für zentrales und peripheres Sehen betrachten, so fallen uns zwei Abweichungen vom Normalen nach zwei verschiedenen Seiten auf. Dem Deuteranotypen[1] erscheint das Rot etwas heller als dem Normalen; die Lampe für Blau mußte also näher herangeschoben werden als

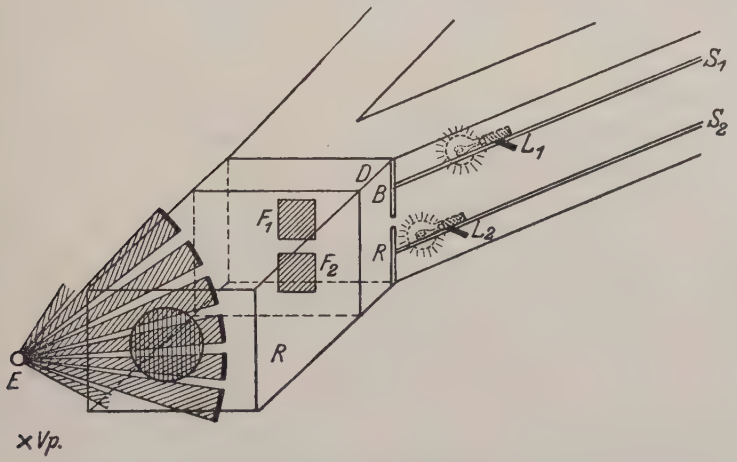


Abb. 1. Helmholtzscher Farbenmischapparat zur Erzeugung durchleuchteter Farben

beim Normalen, um eine Helligkeitsgleichung herzustellen. Für den Protanotypen war dagegen das Rot viel dunkler. Es ist dies eine Tatsache, die sich später als sehr bemerkenswert erwies. Das Purkinjesche Phänomen (P. Ph.) schließt aber gerade diese Tatsache ein, und wenn wir uns die Helligkeitsverteilung im Spektrum für die Anomalen vergegenwärtigen, so überrascht uns unser Resultat in keiner Weise, finden wir doch hierin nur eine Bestätigung. Nach neueren Untersuchungen wird die Helligkeitsverteilung für Normale und Deuteranotype nicht mehr für gleich

[1] Deuteranomalen und Deuteranopen können wir da, wo sie sich übereinstimmend verhalten, den Namen Deuteranotypen geben. Einen analogen Terminus führen wir bei Protanomalen und Protanopen ein.

angesehen; das Helligkeitsmaximum für den Deuteranotypen ist nach dem Rot verschoben [1], während dieses Maximum für den Protanotypen nach dem kurzwelligen Ende hin gerückt ist. Zu bemerken ist noch, daß die Abweichung des Deuteranotypen vom Normalen in der einen Richtung, d. h. im umgekehrten Sinne des P. Ph.s viel geringer ist als die des Protanotypen im Sinne des P. Ph.s. Das folgt daraus, daß die Helligkeitsverschiebungen, wie sie das P. Ph. aufweist, viel größeren Spielraum haben als diejenigen im umgekehrten Sinne, wenn wir von der Helladaptation des Normalen ausgehen. Von guter Helladaptation bis zur völligen Ausschaltung des P. Ph's, sofern dieselbe überhaupt möglich ist [2], ist kein großer Schritt. Auf der anderen Seite stehen die vielen stetigen Zwischenstadien von vollkommener Helladaptation zur totalen Dunkeladaptation.

Fassen wir nun die Unterschiede zwischen zentralem und peripherem Sehen bei Helladaptation ins Auge, so haben wir wieder eine Abweichung vom Normalen nach zwei Seiten. Für den Deuteranotypen ist diese Differenz größer als für den Normalen, während sie für den Protanotypen kleiner ist. Bei der Differenz der Zahlen beim Normalen und Deuteranotypen ist dies wohl ganz sinnfällig, aber beim Protanotypen dürfen wir uns durch die zahlenmäßige größere Abweichung nicht irreführen lassen. Denn wir müssen bedenken, daß die Lichtstärke abnimmt mit dem Quadrate der Entfernung, und daß eine kleine Differenz bei nahestehenden Lampen eine viel größere Abnahme der Lichtstärke bedingt als eine größe Differenz bei weitstehenden Lampen.

Vergleichen wir nun die Ergebnisse bei Helladaptation mit denen bei Dunkeladaptation, so finden wir die Erscheinung des P. Ph. bei den Deuteranotypen ausgeprägter als beim Normalen, während für den Protanotypen eine Angleichung der beiden Helligkeitsgleichungen vorhanden ist im Hell- und Dunkelsehen ebenso eine Annäherung von zentralem und peripherem Sehen.

Ein weiteres Ergebnis, das wir nebenbei gewannen, scheint uns von besonderer Wichtigkeit zu sein. Als wir die Helligkeitsgleichung der Protanotypen bei Helladaptation und die der Nor-

---

[1] Angier, *Pflügers Arch.* **37**, 75 (1905).

[2] F. Exner, Zur Kenntnis der Purkinjeschen Phänomens, *Wien. Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Math.-nat. Kl.* IIa, 128 H. I (1919). — König behauptet die Existenz des Purk. Ph. bei guter Helladaptation, Exner bestreitet sie.

malen und Deuteranotypen bei Dunkeladaptation miteinander verglichen, so fiel uns die große Übereinstimmung zwischen ihnen auf.

Protanotypengleichung bei Helladaptation (Vp. Ep.)
Rot: 0 cm
Blau: 26 cm (D = $^1/_4$).

Normalengleichung bei Dunkeladaptation (Vp. Gn.)
Rot: 0 cm
Blau: 35 cm (D = $^1/_4$) } $\varphi = 18^0$.

Deuteranotypengleichung bei Dunkeladaptation (Vp. Ldp.)
Rot: 0 cm
Blau: 45 cm (D = $^1/_4$) } $\varphi = 18^0$.

Diese Tatsache legte uns die Vermutung nahe, die eine Gleichung in die andere überzuführen, und unsere Ansicht hat sich in vollem Umfange bestätigt. Wenn man die Deuteroantypengleichung bei Helladaptation einstellt und das Sehorgan etwas dunkel adaptiert, so entsteht die Gleichung des Normalen, d. h. die von dem Deuteranotypen eingestellte Gleichung bei geringer Dunkeladaptation würde für den Normalen eine Gleichung bei vollkommener Helladaptation sein. Adaptiert man das Auge noch weiter und setzt man gleichzeitig die Intensität der beiden farbigen Felder gleichmäßig herab, so resultiert die Gleichung des Protanotyen. Der Protanotype würde also bei Helladaptation diese Gleichung als die seinige anerkennen.

Wir haben gefunden, daß man bei geringer Dunkeladaptation, bzw. bei starker Dunkeladaptation und Verringerung der Intensität der Farben die Deuteranotypengleichung in die des Normalen und weiter in die des Protanotypen überführen kann, wobei die Gleichung des Normalen der des Deuteranotypen näher steht als der des Protanotypen.[1]

Um die Verhältnisse der Helligkeitsverschiebungen beim Übergang zur Dunkeladaptation gleichzeitig mit mehreren Farben kennen zu lernen, benutzten wir eine Reihe von Pigmentfarben, wie sie uns in Ostwalds Farbnormenatlas gegeben waren, und zwar nahmen wir die Farbtäfelchen von der Sättigung n und Helligkeit c.

Der Versuch erfolgte so, daß wir die Vpn. die Farben nach fallender Helligkeit auf grauem Untergrund ordnen ließen, und zwar geschah dies bei Hell- und bei einem gewissen Grade von Dunkeladaptation. Die Ergebnisse wurden nur gewertet, wenn sie

[1] Vgl. Seebeck, *Poggendorfs Ann.* **12**, 50 (1837).

bei guter Helladaptation gewonnen wurden. Dann wurde das Zimmer so weit verdunkelt, daß die Farbenschwellen noch nicht erreicht waren. Zur Verwendung kamen folgende Farben der Reihe nach: 1 = Gelb, 7 = Urrot, 8 = Karmin, 9 = Purpur, 10 = Rotviolett, 11 = Rotviolett, 13 = Blauviolett, 15 = Cyan, 17 = Blau mit grünem Stich, 19 = Blaugrün, 20 = bläuliches Grün, 21 = Grün, 23 = Grüngelb, 24 = grünliches Gelb. Die folgende Tab. 2 gibt drei typische Farbenanordnungen bei Hell- und Dunkeladaptation wieder. In Säule 1 sehen wir die normale Helligkeitsver-

Tabelle 2

| Vp. Sn. | | Vp. Ldp. | | Vp. Sp. | |
|---|---|---|---|---|---|
| Hell-adaptation | Dunkel-adaptation | Hell-adaptation | Dunkel-adaptation | Hell-adaptation | Dunkel-adaptation |
| 1 | 1 | 1 | | 1 | |
| 24 | 24 | 24 | | 24 | |
| 23 | 23 | 23 | | 23 | |
| 7 | 20 | 7 | | 21 | |
| 8 | 21 | 8 | | 20 | |
| 21 | 15 | 21 | | 17 | |
| 17 | 19 | 9 | Wie beim Normalen | 19 | Wie beim Normalen |
| 9 | 17 | 17 | | 15 | |
| 20 | 13 | 20 | | 13 | |
| 19 | 11 | 19 | | 10 | |
| 15 | 10 | 15 | | 9 | |
| 10 | 9 | 10 | | 11 | |
| 11 | 7 | 11 | | 8 | |
| 13 | 8 | 13 | | 7 | |

teilung im Farbenkreis bei Helladaptation: die hellsten Farben sind die um das Gelb herumliegenden, die dunkelsten liegen im Blau bis Violett. Die zweite Säule gibt uns die Helligkeitsverteilung des Farbenkreises für das normale Dunkelauge. Die kurzwelligen Farben werden vor den langwelligen begünstigt. Die dritte und vierte Säule ist fast identisch mit der für den Normalen. Anders verhält es sich in Säule 5. Bei Helladaptation zeigt sich hier eine Bevorzugung der grünen und blauen Farben gegenüber den roten und violetten. Diese Anordnung würde einem Normalen entsprechen bei einem gewissen Grad von Dunkeladaptation. Vergleichen wir die 6. bzw. die 2. Säule mit der 5., so sehen wir die

Analogie sehr stark. Beim Dunkelsehen stimmten die drei Anordnungen überein.[1] Wir können also sagen, daß die Helligkeitsanordnung des Deuteranotypen und des Normalen ähnlich sind, beim Protanotypen haben wir aber eine Anordnung im Sinne des P. Ph.'s. Die Helligkeitsverteilung im Farbenkreis besteht demnach beim Protanotypen im Hellsehen im Sinne des P. Ph., beim Deuteranatypen im entgegengesetzten Sinne.

## III. Kapitel

## Beiläufige Ermittelungen

C. v. Hess[2] weist darauf hin, daß man „die Sehweise der Grünblinden in die der Rotblinden scheinbar überführen kann, wenn man das Sehorgan in den Zustand mittlerer Dunkeladaptation versetzt. Bei vollkommener Dunkeladaptation gleicht die Sehweise schließlich der angeborenen Farbenblindheit". Nach A. Tschermak (a. a. O.) wäre es aber irrig, die Differenzen zwischen der Rot- und Grünblindheit nur durch entsprechende Unterschiede in der Adaptationsfähigkeit erklären zu wollen. „Schon der Verlauf der Dunkeladaptation zeigt bei beiden Formen keineswegs charakteristische Unterschiede, die den Umfang der normalen Grenzen übersteigen. Das Fehlen fortlaufender Übergänge zwischen Grünblinden und Rotblinden einerseits und zwischen Rotblinden und totalen Farbenblinden andererseits spricht dagegen, die drei Formen ohne weiteres einfach als verschiedene Gradstufen aufzufassen." Der Vollständigkeit halber möchten wir noch erwähnen, daß dieser Ansicht nicht unwidersprochen ist. Nach C. v. Hess[3] ist prinzipiell von besonderem Interesse die bisher unbekannte Tatsache, daß zwischen der totalen Farbenblindheit und der häufigsten Form der Rotblindheit eine Reihe verschiedener Zwischenformen vorkommen Je stärker die Blaugelbunterwertigkeit des Rotblinden ist, um so enger ist die Verwandtschaft zur totalen Farbenblindheit. Rotblindheit mit mangelnder Blaugelbwertigkeit führt nach Hess zu dem Farbensinn, bei dem die Funktion des Sehapparates für Tagessehen vermindert ist und sich die Sehweite der des normalen dunkeladaptierten Auges sehr stark annähert. Ausfall der Farben-

[1] A. Tschermak, Licht- und Farbensinn. S. 374. Handb. der norm. u. path. Physiologie, **12**, 1 u. 2, S. 374. Berlin 1920 bis 1931.

[2] C. v. Hess, *Pflügers Arch.* **185**, 147 (1920).

[3] C. v. Hess, Farbenlehre. *Erg. Physiol.* v. Asher u. Spiro. Bd. 20. München 1922.

empfindlichkeit und Verschiebung des Helligkeitsmaximums nach dem kurzwelligen Teile spektraler Lichter sind charakteristisch für das normale Dunkelsehen, und diese Anzeichen weisen die extremen Fälle von Rotblindheit in hohem Maße auf.

Für uns war somit durch die Untersuchungen von C. v. Hess die Anregung gegeben nachzuprüfen, inwieweit eine Blaugelbunterwertigkeit bei unseren Farbensinntypen bestand.

Wir benutzten eine Anordnung zur Untersuchung des Aubert-Försterschen Phänomens, um die Gesichtsfeldgrenzen auf dem vertikalen Meridiane festzustellen. Ein Papierband war um zwei vertikal übereinanderliegende Walzen gelegt, so daß durch Drehung dieser Walzen kleine Farbquadrate auf dem Bande von oben langsam in das Gesichtsfeld gebracht werden konnten. Als Farben nahmen wir: Rot, Blaugrün, Gelb und Blau, d. h. angenäherte Komplementärfarben, weil für sie die Grenzen beim Normalen annähernd zusammenfallen. Die Vp. saß in einer konstanten Entfernung vor dem Papierband, und damit eine konstante Fixierrichtung erreicht wurde, ruhte der Kopf auf einer Kinnstütze. Die Zahlen in Tab. 3 geben die Höhe an, gemessen von der Horizontalen ab, bei der die Farben in ihrer Qualität erkannt wurden.

Tabelle 3

| Vp. | Rot | Blaugrün | Gelb | Blau |
|---|---|---|---|---|
| Sn. | 50 | 46 | 53 | 53 |
| Dr. Ep. | 0—5 | 5 | 46 | 45 |
| Sp. | 17 | 25 | 46 | 50 |
| Kp. | 5—10 | 30—35 | 45—50 | 45 |
| Ldp. | — | — | 57 | 60 |
| Dr. Rdp. | — | — | 50 | 53 |
| Bd. | 30—35 | 20—25 | 60 | 58 |

Die Grenzen sind beim Normalen für Rot und Blaugrün enger, für Gelb und Blau weiter, und zwar sind je zwei Grenzen annähernd gleich. Bei den Protanotypen ist die Grenze für Rot sehr weit herabgesetzt, während sie für Blaugrün weiter ist, aber immer noch unternormal bleibt. Das Wesentlichste ist wohl, daß die Grenzen für Gelb und Blau auch eingeengt sind, und da man aus den Gesichtsfeldgrenzen nach C. v. Hess auf die Wertigkeit einer Farbe schließen kann, so folgt daraus, daß Gelb und Blau unterwertig sind. Beim Deuteranotypen dagegen ist Gelb und Blau normalwertig bis überwertig. Im Gegensatz zum Protanotypen ist hier die Grenze für Grün enger als für Rot, bzw. sind beide gleich Null. Als Ergebnis wollen wir also festhalten, daß die

Gelbwertigkeit und Blauwertigkeit, die ja für jeden einzelnen Typ im großen und ganzen ähnlich sind, beim Deuteranotypen normal bis übernormal sind, während sie beim Protanotypen unternormal bleiben. Zu denselben Ergebnissen sind wir gekommen auf Grund von Schwellenmessungen, die wir an Kreiselscheiben machten, und die Verfasser zusammen mit Herrn Dr. Limpfr am Farbenmischapparat vornahmen, indem wir eine Farbe vorsetzten und die Lampe von rückwärts so weit nach vorne schoben bis sie erkannt wurde. Auch hier fanden wir eine Normalwertigkeit bis Überwertigkeit der Deuteranotypen für Gelb und Blau und eine wechselnde Unterwertigkeit der Protanotypen für dieselben Farben.[1] Durch einen Zufall wurden wir auf eine andere Verschiedenheit in dem Verhalten der beiden Gruppen von Anomalen und Farbenblinden geführt. Als wir den Farbensinn von Vp. Le. untersuchten, der, wie sich herausstellte, protanop war, machten wir die Feststellung, daß er ein sehr geringes Farbtonunterscheidungsvermögen hatte. Wir boten ihm die Ostwaldschen Farben der Reihe nc, d. h. vom Gelb bis Grüngelb und von Rotviolett bis Blau dar. Er nannte die erste Gruppe gelb, die zweite Blau, und ordnete sie nach fallender Helligkeit folgendermaßen an: 1, 24, 23 und 17, 13, 11, 9, 10. Das Verhalten ist auch gar nicht verwunderlich, da er für Rot und Grün unempfindlich ist; ein ähnliches Resultat ergab sich bei den Deuteranotypen, nur daß hier ein relativ gutes Unterscheidungsvermögen für die blaugrünen Farbtöne vorliegt, während die Leistung des Protanopen für alle Farben herabgesetzt ist. Unsere Untersuchungen an Protanotypen und Deuteranotypen ergaben das Resultat, daß für erstere sich eine allgemeine Herabsetzung der Farbunterscheidung ergibt, und eine besondere Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit für das Gelb und die benachbarten Farbtöne vorliegt, während die letzteren eine analoge Minderung für die Farben vom grünlichen Gelb bis zum Grün aufweisen. Im ganzen sind die Protanotypen weniger empfindlich für eine beliebige Farbtonänderung als die Deuteranotypen. Bekanntlich liegt nun im Hellauge das Maximum der Empfindlich-

[1] Vgl. hierzu: C. v. Hess: 1. Farbenlehre, *Erg. Physiol.*, hrsg. v. Asher u. Spiro. Bd. 20. München 1922. 2. Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinns, sowie des Pupillenspiels, Handb. d. biolog. Arbeitsmeth. (Abderhalden) Abt. V, Teil 6, Heft 2, S. 297, 3. Die Rotgrünblindheiten. *Pflügers Arch.* **185**, 147 (1920). A. Tschermak, Licht- und Farbensinn.

keit im Gelb, im Dunkelauge in der Gegend des Gelbgrün. Die Protanotypen zeigen also die stärkste Abschwächung der Empfindlichkeit in dem Wellenbereich, wo normalerweise die Empfindlichkeit des Hellauges am größten ist, die Deuteranotypen dort, wo die Empfindlichkeit des Dunkelauges am größten ist. Auch hierin zeigt sich, daß die Protanotypen von dem Verhalten des Hellauges in der Richtung desjenigen des Dunkelauges abweichen, die Deuteranotypen von dem Verhalten des Dunkelauges in der Richtung des Hellauges, und wie wir sahen, über das normale Sehen hinaus.

Nun gingen wir daran, die Unterschiede festzulegen in dem Vermögen, Sättigungsverschiedenheiten zu erkennen. Und zwar wählten wir von den Ostwaldschen Farben 6 Farbtöne: Rot, Gelb, gelbliches Grün, Grün, bläuliches Grün und Blau in 9 ver-

Tabelle 4

| Vp. | Rot | Gelb | Gelb-grün | Grün | Blau-Grün | Blau |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lpp. | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Dr. Ep. | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 |
| Sp. | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Kp. | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 |
| Ldp. | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| Dr. Rdp. | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| Bd. | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Gn. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

schiedenen Sättigungsstufen. Die Zahlen in Tab. 4 geben uns die Anzahl der für gleich gesättigt gehaltenen Farben wieder.

Die Tab. 4 zeigt uns, daß die normale Vp. alle Farben als verschieden gesättigt erkennt, bei den Deuteranotypen ist die Unterscheidungsfähigkeit etwas herabgesetzt, während bei den Protanotypen das Vermögen, Sättigungsunterschiede wahrzunehmen, am geringsten ist. A. Tschermak [1] sagt hierzu, daß „Rotblinde Sättigungsunterschiede nicht so gut sehen wie Grünblinde". Vielleicht ist der Protanop dem Deuteranop nur im Rot überlegen, denn dem Rot ist ein dunkles Grau zugemischt und dadurch eine bessere Unterscheidung der Sättigung ermöglicht. Diese Rotverdunkelung, also eine Erscheinung im Sinne des P. Ph., läßt die Helligkeitsunterschiede besser erkennen, so daß der Grund für

[1] A. Tschermak, Licht- und Farbensinn.

die bessere Erkennbarkeit der Unterschiede im Rot nicht in der Wahrnehmung der Sättigung liegt, sondern in der der Helligkeit.[1]

Nun möchten wir noch einer Tatsache Erwähnung tun, die uns bei unseren Versuchen mit dem Anomaloskop entgegentrat. Wir untersuchten die Schüler der hiesigen Oberrealschule, Südschule und der Mittelschule in Kirchhain. Den Herren Leitern dieser Anstalten möchten wir an dieser Stelle unseren Dank aussprechen für ihr freundliches Entgegenkommen.

Auf den Umfang, innerhalb dessen bei Prüfungen der Unterschiedsempfindlichkeiten Gleichungen angenommen werden, hat die Dauer der Beobachtung des Feldes einen großen Einfluß.[2] Wir fanden Anomale, die im ersten Augenblick nur bei einem bestimmten Rotgrünmischungsverhältnis die Gleichung anerkannten, aber, wenn sie die Vergleichsfelder nur wenige Sekunden fixierten, sogar zwischen reinem Rot, bzw. reinem Grün einerseits und Gelb andererseits Gleichungen annahmen. Die Kinder empfanden eine sichtliche Schwierigkeit, den Anforderungen des Vl. zu genügen. Im allgemeinen war die Auffindung der Rayleigh-Dondersschen Gleichung nicht sehr einfach, und zwar aus zwei Gründen: erstens durften wir die Vp. nicht lange fixieren lassen und mußten uns auf ein schnelles eindeutiges Urteil verlassen; und zweitens trat auf dem gelben Vergleichsfelde sofort der Simultankontrast auf, der ja bei den Anomalen gesteigert ist. Auf einen letzten Punkt möchten wir noch hinweisen, der bei Versuchen mit gewissen Anomalen nicht aus dem Auge zu lassen ist: die starke suggestive Beeinflussung bei Erkennung von Farben. Bei einzelnen Anomalen, nicht bei allen, ist ein synästhetischer Einschlag vorhanden, und hieraus ist — abgesehen von der natürlichen Unsicherheit im Erkennen von Farben — die leichte Beeinflußbarkeit Farben gegenüber zu erklären. Wenn wir diesen Anomalen ein Rotgrüngemisch darboten, das einem Gelb nicht gleichfarbig war, so sahen sie aber sofort eine Gleichung, wenn wir sie darauf hinwiesen. Vor allem haben wir diese Beobachtungen bei Protanotypen gemacht. Ähnliche Fälle von starker Suggestibilität sind uns nur bei normalsichtigen Synästhetikern begegnet, die auf Grund der Labilität ihrer

---

[1] Vgl. Koffka, Untersuchungen an einem protanomalen System. *Z. Sinnesphysiol.* **43**, 2 (1909).

[2] H. Koellner, Handb. d. norm. u. path. Physiol. XII, 1. 2. 1929, S. 514.

seelischen Funktionsschichten sich leicht beeinflussen ließen, ungleiche Felder für gleich zu erkennen. Offenbar können gerade die Protanotypen eine Verwandtschaft zeigen zu den Synästhetikern. Das geht schon aus den Untersuchungen von Limper hervor, die gezeigt haben, daß bei ihnen zwischen Erlebnis, zwischen Gefühl und Empfindung, die bei den Synästhetikern sehr ausgeprägt sind („Gefühl wie Blau"), die scharfen Grenzen fallen, und an Stelle der eigentlichen Farbenempfindungen treten.

Fassen wir zusammen, so können wir sagen, daß Anomale Farben gegenüber schnell ermüdbar sind, daß sie gesteigerten Simultankontrast haben, und daß vor allem die Protanotypen, soweit sie einen synästhetischen Einschlag haben, stark suggestiv sind im Erkennen von Farben, ähnlich, wie wir es bei einzelnen von uns untersuchten Synästhetikern gefunden haben. Wie weit dies im allgemeinen zutrifft, kann erst auf Grund eines großen Materials entschieden werden. Aber eine große Schwierigkeit liegt darin, daß die Protanotypen den seltenen Fall der Rotgrünanomalie und Rotgrünblindheit bilden, so daß eine eindeutige Bestimmung der Verhältnisse sehr schwer ist.

Wie wir bei unseren Versuchen über die Anordnung von Pigmentfarben zur Untersuchung des P. Ph. gefunden hatten, nimmt die Sättigung mit zunehmender Verdunkelung des Zimmers ab. Bei den Protanotypen hatten wir aber eine Minderung in der Unterschiedlichkeit von Sättigungsstufen bei allen Farben gefunden. Es liegt also ein ähnliches Verhalten vor wie beim Normalen bei einem gewissen Grad von Dunkeladaptation. Daß der Farbenapparat im ganzen eine Minderwertigkeit aufweist, zeigt sich auch darin, daß die perimetrischen Grenzen für Gelb und Blau eingeschränkt sind neben denen von Rot und Grün. Beim Deuteranotypen besteht eine Normalwertigkeit bis Übernormalwertigkeit für Gelb und Blau. Hinsichtlich der Sättigung sagt C. v. Hess[1]: „Die Bestimmung der Breite der motorischen Wechselverengerung gestattet, unabhängig von den Angaben des Untersuchten, die Feststellung, daß blaue und gelbe Lichter von Rotblinden (Protanopen) weniger gesättigt gesehen werden als c. p. vom Normalen." Ähnliche Verhältnisse ergeben sich auf Grund seiner Untersuchungen beim Grünsichtigen (Protanomalen).

[1] C. v. Hess, Farbenlehre. *Erg. Physiol.*, hrsg. v. Asher u. Spiro. Bd. 20.

Nun möchten wir noch einen Punkt aus der Literatur erwähnen betreffs der pupillomotorischen Valenzen. M. Sachs zeigte, daß für den Menschen der motorische Wert oder die pupillomotorische Valenz einer farbigen Strahlung durch deren Helligkeitswert bestimmt wird. Systematische Inangriffnahme bei den Farbensinnstörungen erfolgte durch C. v. Hess mittels des von ihm konstruierten Differential-Pupilloskops. Abelsdorf[1] sagt: „Wenn ich alle theoretischen Erwägungen beiseite lasse, so ist bewiesen worden, daß die Größe des Empfindungswertes, welcher dem Gesamteindruck der Helligkeit einer Farbe zukommt, der Größe des auf das pupillenverengernde Zentrum ausgeübten Reizes proportional ist. Die bei Änderung der Lichtintensität und des Adaptationszustandes erfolgende gleiche Änderung der Reizwerte verschiedener Lichter, welche bei dem sog. P. Ph. in Erscheinung tritt, kommt auch in der regulierenden Innervation der Pupille zum Ausdruck."

In bezug auf unsere anomalen Typen gibt Tschermak[2] folgende Tabelle nach C. v. Hess an:

| | Gelblichtsichtige | Blaulichtsichtige |
|---|---|---|
| Pupillomotorische Wirksamkeit verschiedenartiger Lichter (nach Hess) | Langwellige Lichter relativ stark, kurzwellige Lichter relativ schwach wirksam. | Langwellige Lichter rel. schwach, kurzwellige Lichter relativ stark wirksam, z. B. für Rotlicht 2,6 / Blaulicht 4,3 gegen 9,7 bzw. 2,0 beim Normalen. |

C. v. Hess[3] schreibt über seine Versuche: „Alle ‚Protanomale' zeigen kleinere Rotwerte und größere Blauwerte als der Normale unter gleichen Bedingungen. Letztere können recht beträchtlich werden. Für alle gilt, daß die fraglichen farbigen Strahlungen bei hohen Lichtstärken und entsprechender Helladaptation für verschiedene Grünsichtige ähnliche oder gleiche motorische, bzw. Helligkeitswerte haben, wie für den Normalen bei Herabsetzung der Lichtstärke um einen bestimmten Betrag und entsprechender Dunkeladaptation."

[1] G. Abelsdorf, *Z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **22**, 95 (1900) und M. Sachs daselbst S. 396.

[2] A. Tschermak, Licht- und Farbensinn. S. 359.

[3] C. v. Hess, Farbenlehre. S. 23.

In gleicher Weise untersuchte er Rotblinde, Rotsichtige und Grünblinde. Bei den relativ Grünsichtigen (Protanomalen), zumeist solchen mit hochgradiger Blaugelbunterwertigkeit, fand er für die Mittelwerte bei roter und blauer Beleuchtung im wesentlichen dieselben Zahlen, wie sie bei einem Teil der von ihm untersuchten Rotblinden galten. „Geringe Herabsetzung der motorischen Rotwerte, bzw. Vergrößerung der motorischen Blauwerte ist für relative Grünsichtigkeit (Protanomalie) charakteristisch, starke Herabsetzung der motorischen Rotwerte, bzw. Zunahme der motorischen Blauwerte findet sich bei allen Rotblinden, ist aber nicht für Rotblindheit unbedingt charakteristisch, denn ähnliche motorische Rot- und Blauwerte kann man auch bei Fällen von relativer Grünsichtigkeit zumeist solche mit stärkerer Blaugelbunterwertigkeit finden. Bei relativ Rotsichtigen (Deuteranomalen) und Grünblinden (Deuteranopen) fanden sich fast dieselben Verhältnisse wie beim Normalsichtigen. Bei relativ Rotsichtigen fand ich zuweilen für Rot etwas höhere motorische Werte als beim Normalen."

Diese Zitate mögen genügen, um zu zeigen, wie auf Grund der Untersuchungen über die pupillomotorischen Werte, d. h. also auf Grund des P. Ph. folgende Reihenfolge gilt: Deuteranotyp, Normaler, Protanotyp.

## Zusammenfassung

Grundlegend für unseren Arbeitsweg war die Unterscheidung verschieden hoher Reaktionsschichten im Farbensinn, die durch die Bezeichnung des Tages- und Dämmerungssehens odes des Purkinjeschen Phänomens — wenn auch nicht vollständig, so doch ihrem Wesen nach — charakterisiert werden können. Wir haben das Ausmaß des im Hell- und Dunkelsehen bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden mittels durchleuchteter Farben und Pigmentfarben untersucht. Hinsichtlich der Messungen bei Hell- und Dunkeladaptation finden wir die Erscheinung des P. Ph. bei den Deuteranotypen (vgl. S. 293, Anm.) ausgeprägter als beim Normalsichtigen, während für den Protanotypen eine Tendenz auf gleiches Verhalten im Hell- und Dunkelsehen vorliegt; ebenso ist bei Letzterem eine Annäherung von zentralem und peripherem Sehen vorhanden.

Weiter ergibt sich, daß bei geringer Dunkeladaptation, bzw. bei starker Dunkeladaptation und Verringerung der Intensität der Farben die Gleichung des Deuteranotypen in die des Normalen

und weiter in die des Protanotypen übergeführt werden kann, wobei die Gleichung des Normalen der des Deuteranotypen näher steht als der des Protanotypen.

Wir können also sagen, daß der Normalsichtige hinsichtlich des Purkinjeschen Phänomens zwischen dem Deuteranotypen und dem Protanotypen steht mit großer Annäherung an den Deuteranotypen. Die Farbenfunktionsschichten des Protanotypen reagieren so, als ob sie in einem gewissen Zustande des Dämmerungssehens wären, die Deuteranotypen zeigen dagegen normales bis übernormales Verhalten.

# Das Formen- und Bewegungssehen im Hinblick auf das Purkinjesche Phänomen bei Normalsichtigen, anomalen Trichromaten und Farbenblinden. Adaptationsuntersuchungen

Mit 10 Abbildungen im Text

## Inhaltsverzeichnis


Seite

I. Kapitel: Formensehen . . . . . 306
A. Weißlichkeitsänderungen infolge schwächerer bzw. stärkerer Mitwirkung des Formensehens . . . . . 307
B. Das Verhalten der Sehschärfe bei heterochromatischen Weißlichkeitsgleichungen . . . . . 312
C. Das Verhalten der Sehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung im farblosen Licht . . . . . 314
D. Flimmerfrequenz . . . . . 316
II. Kapitel: Bewegungssehen . . . . . 319
III. Kapitel: Die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächengröße . . . . . 324
IV. Kapitel: Adaptationskurven . . . . . 329


### I. Kapitel

## Formensehen

Die Erscheinungen des Purkinjeschen Phänomens (P. Ph.) deuten auf eine Einschaltung primordialer Funktionsweisen hin. Für diese ist das Formensehen als ein funktionell junger Erwerb stark herabgesetzt. Wir werden also in diesem Teil das Formensehen der Normalen, Anomalen und Farbenblinden untersuchen und festzustellen suchen, ob das Purkinjesche

Phänomen bei den verschiedenen Typen in gleicher Weise oder in verschiedenem Maße auftritt.

Der Raum, in dem die Versuche stattfanden, war ein zweifenstriges Eckzimmer. Es konnte durch schwarze Stoffjalousien vollkommen lichtdicht verdunkelt werden. Als Lichtquellen dienten zwei Projektionslampen je 50 Kerzen stark. Vor jeder dieser Lampen befand sich ein rotes bzw. ein blaues Glas von annähernd gleicher Sättigung und Weißlichkeit. Um bei den Versuchen im Dunkelzimmer alles Nebenlicht abzublenden, umgaben wir die Lampen mit einem Pappkarton und überdeckten überdies die Lampen noch mit dickem Stoff. Die Lampen waren so gestellt, daß sie bei allen Versuchen eine konstante Entfernung behalten konnten.

Die Abschwächung der Lichtquelle geschah für das blaue Licht durch einen Regulierwiderstand, für das rote Licht durch intermittierende Unterbrechung des Strahlenganges mittels eines Episkotisters, der durch zwei kongruente Pappscheiben hergestellt war, die das Aussehen eines Zahnrades hatten und gegeneinander drehbar waren, so daß je nach Öffnung der Strahlengang mehr oder weniger unterbrochen werden konnte, was nach dem Talbotschen Gesetz einer Abschwächung der Lichtstärke gleichkommt. Die Zähne sowie die Zahnlücken hatten eine Winkelgröße von je 24 Grad. Die Abschwächung des Lichtes durch einen Episkotister konnte jetzt numerisch durch Angabe des Winkels gemessen werden, um den die eine Scheibe gegen die andere verschoben war, eine Messung, die bei Abschwächung des Lichtes mittels Regulierwiderstandes unmöglich war. Die Aufgabe unserer Vpn. lief im Wesentlichen darauf hinaus, eine Weißlichkeitsgleichung bei blauer und roter Beleuchtung zu erzielen. Die Einstellung geschah nach der Methode der Eindrucksgleichheit. Die rote Farbe wurde solange mittels Episkotisters variiert, bis die Vp. am schlechtesten entscheiden konnte, welche Farbe weißlicher sei; die Einstellung war also auf den Punkt „maximaler Unentschiedenheit" oder, wie man kurz sagen kann, auf „optimale Gleichheit" gerichtet.

Die Vp. saß in der Richtung der Mittelsenkrechten der Verbindungslinie der beiden Lampen, etwas vor diesen. Die Lichtquellen waren etwas nach einwärts gedreht und beleuchteten ein Feld vor der Vp. Je nach Vorschalten eines Diaphragmas konnten wir einen Lichtkegel von beliebiger Gestalt und beliebiger Größe aussondern.

Die Versuche wurden alle dann vorgenommen, nachdem ein gewisser Grad von Dunkeladaptation erreicht war; so daß sich die Adaptation während des Versuches nur in geringen Grenzen ändern konnte. Wenn aber eine merkliche Änderung eingetreten wäre, so hätte sie höchstens dem Phänomen entgegenwirken können.

## A. Weißlichkeitsänderungen infolge schwächerer bzw. stärkerer Mitwirkung des Formensehens

In den jetzt folgenden Versuchen wollen wir die Beziehung zwischen Formensehen und der Weißlichkeit eines farbig beleuchteten Feldes untersuchen. Wir wollen also sehen, in welchem

Maße die Weißlichkeit einer Farbe zunimmt bei geringerer oder stärkerer Mitwirkung des Formensehens.

Zu diesem Zweck stellten wir uns ein detailreiches Objekt her, aber doch so, daß eine Erkennung und Vergleichung der Weißlichkeit einen angebbaren Sinn hatte. Die Objekte waren also nicht so geformt, daß die Weißlichkeit in einem unregelmäßigen, kontinuierlichen Wechsel auftrat, sondern so, daß eine starke Formenwirkung mitspielte, aber doch ein möglichst einfaches gleich weißliches Feld auftrat.

Auf einem weißen Pappkarton von der Größe 13,5 · 11,5 cm wurden 4 Holzstäbe von 13,5 cm Länge, die zuvor mit weißem Papier überzogen wurden, aufgeklebt, und im Abstand von je 5 mm parallel angeordnet. So entstanden drei verschiedene Typen von Tafeln je in doppelter Ausfertigung. Die Holzstäbe hatten einen Querschnitt von 10 · 10 mm (Tafeln 1. Sorte), von 2,5 · 10 mm (Tafeln 2. Sorte) und von 0,6 · 10 mm (Tafeln 3. Sorte). Die so hergestellten Tafeln waren somit reich an Einzelheiten, und diese hatten, entsprechend des größeren oder geringeren Querschnitts, eine größere oder geringere Tiefenwirkung, sie waren also mehr oder weniger deutlich zu erkennen.

Lampen und Tafel bildeten die Ecken eines gleichschenkligen Dreiecks, und der Beobachtungsort der Vp. variierte auf der Mittelsenkrechten zur Grundlinie. Die Vp. nahm den Ort ein, von wo sie die Plastik der Tafeln 1. Sorte noch deutlich erkennen konnte, während sie bei der 2. Sorte nicht mehr so deutlich gesehen wurde, und bei der 3. Sorte erschien die Plastik nur noch andeutungsweise als dünne breite Streifen.

Nun wurde zuerst die Weißlichkeitsgleichung auf weißem Grunde hergestellt. Nach einer Bemerkung von R. Pauli erscheint bei Verkleinerung der Flächen das langwellige Licht heller, wenn vorher Gleichheit bestanden hat. Es tritt also eine Erscheinung auf im entgegengesetzten Sinne des P. Ph. Um diese Variabilität zu vermeiden, schalteten wir vor die Lampen je ein Diaphragma mit rechteckigem Loch, das nur einen solchen Strahlenkegel ausschnitt, der gerade das Feld in Größe der Tafeln beleuchtete. So war die Konstanz der Beleuchtungsfläche erreicht.

Nachdem auf zwei weißen und glatten Kartons (13,5 · 11,5 cm), die vor einem rauhen schwarzen Hindergrund standen, eine Weißlichkeitsgleichung eingestellt war, traten an ihre Stelle unsere Formentafeln, und den Vpn. lag nun die Aufgabe ob, bei je zwei gleichartigen Tafeln in roter und blauer Beleuchtung auf gleiche Weißlichkeit und gleiche Formerkennbarkeit einzustellen.

Das Ergebnis zeigt Tab. 1. Die Zahlen geben an, um wieviel Grad die Scheiben des Episkotisters gegeneinander verschoben werden mußten, damit jeweils Gleichheit der Weißlichkeit bzw. Formenerkennbarkeit erreicht war. Sie geben also ein Maß für die Abschwächung des roten Strahlengangs, der ursprünglich bei Beleuchtung der Kartons mit dem blauen Licht gleich weißlich zu sein schien. Aus diesen Versuchen folgt, daß, sobald

ein gewisser Erkennbarkeitsunterschied zwischen dem rot und blau beleuchteten Objekt vorhanden ist, auch ein Weißlichkeitsunterschied auftritt, und zwar besteht eine Parallelität in den Ausmaßen. Je stärker die Formenerkennbarkeit im roten Licht ist, desto stärker ist die Weißlichkeitszunahme. In den Fällen, wo die Formenerkennbarkeit bei beiderseitiger Beleuchtung gleich ist, tritt auch keine Weißlichkeitsverschiebung ein.

Tabelle 1

| Vp. | Entfernung in m | Tafeln der Sorte I | | II | | III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Einstellung auf gleiche | | | | | |
| | | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit |
| | | in beiden Beleuchtungen | | | | | |
| | | Die Abschwächung des roten Lichts beträgt in Grad | | | | | |
| Sn. | 1,25 | 7,5 | 12 | 6,25 | 11,75 | 3,5 | 9 |
| Gn. | 2,50 | 9 | 15,4 | 7,5 | 13 | 4 | 9,25 |
| Dn. | 1,75 | 10,5 | 13 | 8 | 10 | 4,5 | 9,5 |
| Dr. Ep. | 1,50 | 2 | 10 | 1,5 | 7,5 | 0 | 0 |
| Sp. | 1,50 | 3,5 | 5,75 | 1,8 | 5,25 | 0 | 0 |
| Kp. | 1,50 | 1,8 | 6 | 1 | 5 | 0 | 0,5 |
| Dr. Rdp. | 2,00 | 8 | 13,5 | 6,5 | 11 | 4,57 | 9 |
| Ldp. | 1,85 | 15 | 18,75 | 10 | 14 | 7,5 | 10 |
| Sd. | 2,10 | 12 | 14,5 | 8,5 | 10,5 | 5 | 8,5 |
| Dd. | 1,70 | 10 | 14 | 8,5 | 9 | 5,5 | 7 |

Nun zeigen sich aber charakteristische Verschiedenheiten bei unseren Typen der Farbensinnanomalie im Vergleich zum Normalsichtigen. Die Deuteranotypen verhalten sich ähnlich wie die normalen Trichromaten; die Vermutung liegt nahe, daß ihre Formenerkennbarkeit im roten Licht noch ausgeprägter ist als beim Normalen. Sehr starke Abweichungen vom Normalsichtigen zeigen dagegen durchweg die Protanomalen. Bei ihnen ist die Formenerkennbarkeit in roter und blauer Beleuchtung sehr stark gegenseitig angenähert. Daher ist auch die Weißlichkeitszunahme im roten Licht gering gegenüber der bei den anderen Typen. Beim Deuteranotypen ist das Formensehen im roten und blauen Licht stark differenziert, es hat normale bis übernormale Maße.

Beim Protanomalen weist es dagegen auf eine noch undifferenzierte Einheit hin.

Auf Grund des Tatsachenkreises des P. Ph. werden bei „Einstellung" auf undeutliches Formensehen die entwicklungsgeschichtlich älteren, primordialen optischen Reaktionsschichten und die zu ihnen gehörigen Weißlichkeitswerte des P. Ph. eingeschaltet, bei deutlichem Formensehen dagegen treten die jüngeren, höheren optischen Reaktionsschichten und die vom P. Ph. abweichenden Weißlichkeitswerte in Funktion. Hinsichtlich der Einschaltung dieser verschiedenen Funktionsweisen können wir also sagen, daß beim Deuteranotypen jüngere und jüngste optische Funktionsschichten in Tätigkeit sind, während beim Protanomalen primordiale optische Reaktionsschichten in Funktion treten. Der oben angestellte Versuch bezieht sich auf zentrales Sehen.

Da wir ja die gesamte Funktionsweise der optischen Reaktionsschichten innerhalb des Erscheinungskreises des P. Ph. untersuchen, war unsere nächste Aufgabe also darin gegeben, diesen Versuch im indirekten Sehen unter denselben Bedingungen zu wiederholen.

Wir ließen die Vp. jetzt nicht die Kartons und Tafeln fixieren, sondern wiesen sie an, einen Punkt zwischen beiden beleuchteten Feldern, den wir mit einem Stückchen weißen Papiers bezeichneten, im Auge zu behalten, und Augenbewegungen zu unterdrücken. Uns kam es wesentlich darauf an, ein Abirren vom Fixationspunkt zu vermeiden und den peripher erhaltenen Gesichtseindruck möglichst genau zu werten. Zuerst ließen wir wieder bei Beleuchtung der weißen glatten Kartons auf gleiche Weißlichkeit einstellen, und dann brachten wir unsere Tafeln in den Lichtkegel. Das Ergebnis ist in Tab. 2 dargestellt.

Bei allen Versuchen im direkten und indirekten Sehen hatten wir den Befund, daß die Formenerkennbarkeit nach der Netzhautperipherie hin abnimmt, damit geht parallel eine geringere Zunahme der Weißlichkeit bei indirekter Beobachtung gegenüber der zentralen. Mit diesem geringen Unterschiede der Formenerkennbarkeit fällt aber gerade dasjenige hinweg, was die Bedingung für die „Einstellung" der verschiedenen optischen Reaktionsschichten und damit für das Auftreten des beobachteten Weißlichkeitsunterschiedes ist. Die Beeinflussung des Helligkeitseindrucks ist bei Einschaltung des Formensehens im indirekten Sehen geringer als im zentralen.

Innerhalb dieses allgemeinen Unterschiedes zwischen zentraler und peripherer Beobachtung haben wir noch eine spezielle Verschiedenheit zwischen beiden Sehweisen innerhalb unserer Typen.

Die Deuteranotypen zeigen normale bis übernormale Differenzen bei direkter und seitlicher Betrachtung, während bei den Protanomalen eine große Annäherung beider Funktionsweisen eingetreten ist. Wir brauchten im Rot viel weniger abzudunkeln bei peripherer Beobachtung, um auf gleiche Formenerkennbarkeit, bzw. gleiche Weißlichkeit, einzustellen. Diese Tatsache ist ein Hinweis darauf, daß bei Deuteranotypen die zentralen und peripheren optischen Funktionen stark differenziert sind, während sie

Tabelle 2

| Vp. | Entfernung in m | Tafeln der Sorte I | | II | | III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Einstellung auf gleiche | | | | | |
| | | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit | Weißlichkeit | Formenerkennbarkeit |
| | | in beiden Beleuchtungen | | | | | |
| | | Die Abschwächung des roten Lichts beträgt in Grad | | | | | |
| Sn. | 1,20 | 3 | 7 | 2,50 | 6,25 | 0,50 | 3 |
| Gn. | 2 | 3,50 | 9 | 3 | 7 | 1 | 3 |
| Dn. | 2 | 4,75 | 10 | 4 | 8,50 | 2 | 3,50 |
| Dr. Ep. | 1,75 | 1,50 | 8 | 0,50 | 5 | 0 | 0 |
| Sp. | 1,50 | 1,75 | 3 | 0,50 | 4,50 | 0,50 | 0,90 |
| Kp. | 1,50 | 1 | 3,25 | 0,75 | 4,50 | 0 | 0 |
| Dr. Rdp. | 1,75 | 3,50 | 7,25 | 2 | 5,25 | 1 | 3,75 |
| Ldp. | 1,50 | 6 | 13 | 4,75 | 9,50 | 2,50 | 4 |
| Bd. | 2 | 3,25 | 7 | 2,50 | 5 | 0,50 | 0,75 |
| Dd. | 1,75 | 3 | 6,50 | 2,25 | 4,60 | 1,80 | 2,25 |

beim Protanomalen auf die ursprüngliche Einheit hinweisen. Der Normale steht wieder zwischen beiden mit stärkerer Annäherung an den Deuteranotypen.

Wir können also zusammenfassend sagen, daß beim Deuteranotypen die Tatsache der Formenerkennbarkeit im zentralen und peripheren Sehen bei roter und blauer Beleuchtung auf eine starke Differenzierung der optischen Funktionen hinweisen, während sie beim Protanotypen noch auf primordialer Stufe stehen geblieben sind. Hinsichtlich der Einschaltung der Funktionsweisen sind beim Deuteranotypen jüngste Reaktionsschichten in Tätigkeit, beim Protanotypen dagegen ältere.

## B. Das Verhalten der Sehschärfe bei heterochromatischen Weißlichkeitsgleichungen

Die Ergebnisse in der Formenerkennbarkeit bei roter und blauer Beleuchtung legten uns den Gedanken nahe, ähnliche Versuche über das Verhalten der Sehschärfe bei heterochromatischen Weißlichkeitsgleichungen vorzunehmen. Es liegt auch ganz im Sinne des Erscheinungskreises des P. Ph., diese Versuche jetzt folgen zu lassen.

Die theoretisch wichtigsten experimentellen Untersuchungen der Sehschärfe für farbige Lichter sind von König, Örum und Uhthoff gemacht und in Hinsicht auf die Beleuchtungstechnik von R. Pauli vorgenommen worden. Die Ergebnisse von Örum und König lauten verschieden. A. König[1] glaubte, die durch Helmholtz ausgesprochene Vermutung bestätigen zu können, daß wir, unabhängig von der Farbe, bei gleicher Helligkeit auch gleich viel sehend erkennen. „Die von Helmholtz aufgestellte Hypothese ... kann ... nicht aufrechterhalten werden" (R. Pauli). Örum[2] hat die Sehschärfe für Weiß größer als diejenige für die Grundfarben der Young-Helmholtzschen Theorie gefundeu: dabei ständen diese drei Farben in bezug auf die Sehschärfe im Verhältnis 3:2, 5:2 zueinander. Die größte Sehschärfe für Rot, die mittlere für Grün und die kleinste für Blau. Nach R. Pauli lassen sich die Beleuchtungswerte, die man durch Reduktion der Sehschärfeverhältnisse auf gleiche Helligkeit findet, in „eine Skala von aufsteigender Richtung ordnen: Blau, Rot, Gelb, Weiß".

Eine Synthese dieser verschiedenen Ergebnisse von A. König und Örum scheint in der Arbeit von A. Boltunow[3] gegeben zu sein. Er fand, daß bei starker Verdunkelung die Sehschärfe für Rot nur wenig abnimmt, während sich die Sehschärfe für Grün immer erheblich verringert, so daß eine Umkehrung der Werte stattfindet.

Es soll nun über unsere eigenen dieser Frage gewidmeten Untersuchungen berichtet werden. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei den Experimenten über Formenerkennbarkeit. Zwei Projektionslampen beleuchteten abwechselnd mit rotem, gelbem, grünem und blauem Licht die Lesetafeln. Zur Verwendung kamen Landoltsche Zahlen, Landoltsche Ringe[4] und Hakenfiguren in der Form eines ∈ und ⊏.

---

[1] A. König, *Sitzgsber. Akad. Wiss.* **26** (1897). K.s Untersuchungen stellen eine Weiterführung der Uhthoffschen (*Gräfes Arch.* **32** (1886), 3. Abt. S. 95, 1. Abt. S. 171; **36** (1890), 1. Abt. S. 33) dar.

[2] H. P. T. Örum, Studien über die elementaren Endorgane für die Farbenempfindung. *Skand. Arch. Physiol.* **16**, 1 ff. (1904).

[3] A. Boltunow, *Z. Sinnesphysiol.* **42** 370 (1908).

[4] R. Pauli, Psychol. Praktikum S. 107 (1919). Die Größenunterschiede der Landoltschen Zahlen und Ringe, die als internationale Sehproben benutzt werden, sind so gewählt, daß sie eine arithmetische Reihe bilden.

Nachdem die heterochromen Weißlichkeitsgleichungen hergestellt waren auf weißen Feldern, deren Größe den zu untersuchenden Tafeln entsprach, wurden die Sehproben in Form der |= bzw. ⊏ dargeboten. Die Sehschärfe wurde nach der Formel berechnet: Sehschärfe $v = d/D$, wobei d die Entfernung ist, aus der soeben erkannt wird, D die Entfernung, aus der unter normalen Umständen, d. h. bei guter bis „mittelstarker Beleuchtung" (Pauli) erkannt werden soll, wo also die Schrift unter einem Winkel von 5' erscheint. Abb. 2 zeigt drei typische Fälle in graphischer Darstellung.

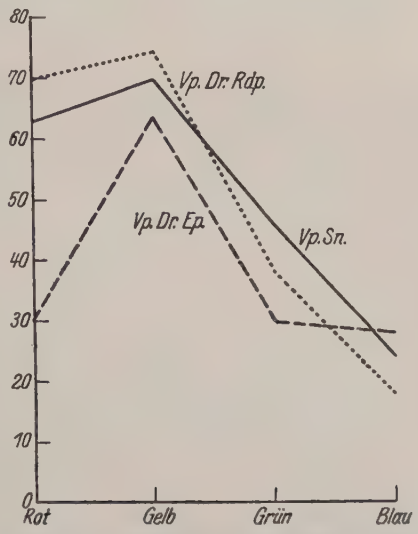


Abb. 1. Graphische Darstellung der Sehschärfe eines Normalsichtigen, Deuteranopen und Protanomalen bei heterochromatischer Beleuchtung

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß die Sehschärfe bei verschiedenfarbiger, aber gleich weißlicher Beleuchtung verschieden ist, und zwar ist sie am größten im gelben Licht, dann folgt die Sehschärfe für rotes, grünes und schließlich für blaues Licht. In dieser qualitativen Anordnung stimmen alle unsere Typen des Farbensinns überein, aber nicht in den quantitativen Ausmaßen. Bei den Deuteranotypen ist der Abfall der Sehschärfe in normalen bis vielleicht übernormalen Bahnen, bei den Protanotypen ist die Sehschärfe in roter Beleuchtung herabgesetzt trotz Einstellung der Farbe auf gleiche Weißlichkeit. Wir können also im Hinblick auf unsere Ergebnisse sagen: Bei den Deuteranotypen ist der Schwankungsbereich der Sehschärfe in verschiedenfarbiger Beleuchtung normal bis übernormal groß, während er bei den Protanotypen klein ist. Das Formensehen in heterochromatischem

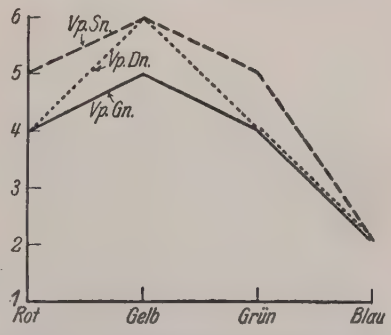


Abb. 2. Graphische Darstellung der Sehschärfe von Normalsichtigen bei heterochromatischer Beleuchtung

Lichte ist bei den Protanotypen für die verschiedenen Wellenlängen gleichartiger, undifferenzierter, für die Deuteranotypen ungleichartiger, differenzierter.

Zur Sicherung unserer Ergebnisse und deren Kontrolle machten wir nun folgenden Versuch. Wir ließen die Vpn. aus konstanter Entfernung die Landoltschen Zahlen lesen bei roter, gelber, grüner und blauer Beleuchtung. Folgende Abb. 3, 4, 5 geben uns Aufschluß über ihr Verhalten. Als Abszissen sind die Farben eingetragen, als Ordinaten die Landoltschen Zahlen, die gerade noch gelesen werden konnten. Der Größenunterschied der Zahlen wächst proportional der Ordinatenlänge. Die Kurvenzüge sind nur als Verbindungslinien der einzelnen Punkte gedacht, die ihrerseits allein beobachtet sind. Diese Tatsachen werfen auch ein Licht auf die bei Limper angeschnittene Frage, nach der beim Deuteranotypen eine relativ schlechte Formerkennbarkeit im grünen Licht vorliegt, während die Formerkennbarkeit beim Protanotypen im Rot herabgesetzt ist.

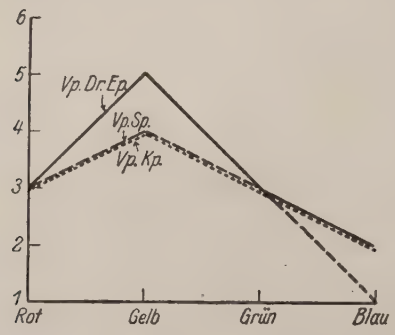


Abb. 3. Graphische Darstellung der Sehschärfe von Protanomalen bei heterochromatischer Beleuchtung

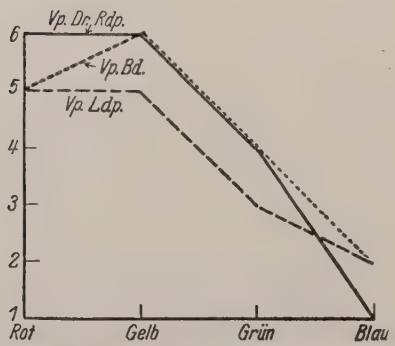


Abb. 4. Graphische Darstellung der Sehschärfe von Deuteranotypen bei heterochromatischer Beleuchtung

## C. Das Verhalten der Sehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung im farblosen Licht

Das Purkinjesche Phänomen weist auf eine Einschaltung primordialer Reaktionsschichten hin. Eine solche Tätigkeit älterer Funktionsschichten beginnt beim Übergang vom Tagessehen zum Dämmerungssehen. Nun deuten die Tatsachen, die sich bei der Sehschärfebestimmung unserer Typen in verschiedenfarbiger Beleuchtung ergaben, auf ein quantitativ verschiedenes Auftreten des P. Ph. hin insofern, als beim Deuteranotypen das Formensehen

in roter, gelber, grüner und blauer Beleuchtung viel stärker differenziert ist als beim Protanotypen, wo die Ergebnisse auf ein primordiales Verhalten hinweisen. Für uns war es somit von Interesse zu untersuchen, ob sich eine ähnliche Verschiedenheit innerhalb der Typen auch beim Übergang von Hell- zur Dunkeladaptation bei farbloser Beleuchtung ergäbe.

Tabelle 3

| Vp | ganz hoch | Höhe der Jalousie | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 160 cm | 80 cm | 60 cm | 40 cm | 18 cm | 8 cm | 4 cm | 0 cm |
| Sn | 0,9971 | 0,8914 | 0,8409 | 0,7576 | 0,6237 | 0,4141 | 0,2272 | 0 |
| Rn. | 0,8942 | 0,8234 | 0,7891 | 0,7237 | 0,6001 | 0,3814 | 0,2015 | 0 |
| Zn. | 1,5410 | 1,1042 | 0,9976 | 0,8764 | 0,6802 | 0,4909 | 0,2381 | 0 |
| Dr. Ep. | 0,9984 | 0,9103 | 0,8765 | 0,8024 | 0,6831 | 0,4270 | 0,2031 | 0 |
| Sp. | 1,3681 | 1,0243 | 0,9705 | 0,8532 | 0,6341 | 0,3265 | 0,1998 | 0 |
| Kp. | 1,4910 | 1,2034 | 0,9899 | 0,8325 | 0,6432 | 0,5123 | 0,2987 | 0 |
| Dr. Rdp. | 1,2042 | 0,9874 | 0,8953 | 0,8151 | 0,5034 | 0,4920 | 0,2003 | 0 |
| Ldp. | 1,0034 | 0,8834 | 0,7654 | 0,7132 | 0,6319 | 0,3912 | 0,1970 | 0 |
| Bd. | 0,8784 | 0,8232 | 0,7319 | 0,6387 | 0,6037 | 0,4186 | 0,2298 | 0 |

Tabelle 4

| Vp. | ganz hoch | Höhe der Jalousie | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 160 cm | 80 cm | 60 cm | 40 cm | 18 cm | 8 cm | 4 cm | 0 cm |
| Sn. | 11 | 11 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Rn. | 11 | 11 | 9 | 7 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| Zn. | 10 | 11 | 8 | 7 | 6 | 3 | 2 | 0 |
| Dr. Ep. | 10 | 10 | 8 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Sp. | 11 | 9 | 7 | 7 | 6 | 3 | 1 | 0 |
| Kp. | 11 | 11 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| Dr. Rdp. | 11 | 11 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| Ldp. | 11 | 10 | 9 | 8 | 6 | 5 | 2 | 0 |
| Bd. | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 | 1 | 0 |
| Bei mäßiger Helladaptation (stark bewölkter Himmel) | | | | | | | | |
| Sn. | 9 | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Kp. | 8 | 7 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Sn. | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Dr. Ep. | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 |

Die Herabsetzung der Beleuchtung geschah so, daß wir von voller Helladaptation ausgehend, indem die Jalousien beider Fenster hochgezogen waren, zuerst das erste Fenster vollständig verdunkelten und dann diskontinuierlich die Jalousie des zweiten Fensters herunterließen. Der Grad

der Herabsetzung der Beleuchtung war somit durch die Höhe der Jalousie von der Fensterbank gegeben.

Unseren Versuch führten wir in zwei Richtungen durch. Bei unserer ersten Untersuchung, deren Ergebnis in Tab. 2 niedergelegt ist, maßen wir die Sehschärfe bei den verschiedenen Graden der Beleuchtung. Dabei war immer Sorge getragen, daß von einer guten Helladaptation ausgegangen wurde.

Bei dem zweiten Versuch, dessen Ergebnisse Tab. 4 enthält, wurde bei einer konstanten Entfernung der Vp. von den Landoldtschen Zahlen angegeben, welche Reihe gerade noch erkannt wurde.

Das Ergebnis unserer Untersuchungen lehrt ganz eindeutig, daß bei all unseren Typen der Gang der Dunkeladaptation die Sehschärfe in normaler Weise herabsetzt, ganz im Gegensatz zu unseren Versuchen bei farbiger Beleuchtung. Weitere mitgeteilte Versuchsreihen (Flimmerfrequenz, Bewegungssehen, Piperscher Versuch) stimmen mit diesem Resultat aufs beste überein. Wir werden aus dieser Übereinstimmung später wichtige Schlüsse ziehen können über den Aufbau der Sehschichten und die Struktur der Licht- und Farbenreaktionsschichten.

## D. Flimmerfrequenz

Um auch noch auf einem anderen Wege die Sehschärfeverhältnisse zu prüfen, beschlossen wir, im Tageslicht, im roten, gelben, grünen und blauen Licht die Frequenz zu messen, die nötig ist, um auf einer Kreiselscheibe schwarze und weiße Sektoren zur Verschmelzung zu bringen, so daß soeben der Eindruck einer gleichmäßig grauen Scheibe entstand.

Wenn nämlich eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichen und regelmäßig in derselben Weise wiederkehrenden Lichtreizen getroffen wird, und die Dauer einer Periode hinreichend kurz ist, so entsteht ein kontinuierlicher Eindruck, der dem gleich ist, welcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Periode eintreffende Licht gleichmäßig über die ganze Dauer der Periode verteilt würde.

Zu demselben Zweck wurden zwei rein weiße Kartonscheiben von 17 cm benutzt, auf die je ein schwarzer Episkotister mit 8 Sektoren aufgeklebt war. Die Scheiben liefen zunächst zwecks Einstellung der Weißlichkeitsgleichungen auf zwei schnell rotierenden Kreiselmotoren. Die Anordnung war dieselbe wie bei unseren Untersuchungen über Formenerkennbarkeit. In die Projektionslampen waren je ein Diaphragma mit kreisförmigem Loch geschoben, so daß nur ein solcher Lichtkegel austreten konnte, der gerade die Scheiben beleuchtete. Auf diese Art war jedes Nebenlicht ausgeschaltet. Die Vp. saß in einer Entfernung von 2 m vor der Scheibe und ward angehalten, zwischen den Beobachtungen die Augen geschlossen zu halten.

Zur Abschwächung der Lichtquelle konnten wir keinen Episkotister verwenden, denn es zeigten sich störende Flimmerbewegungen auf der Sektorenscheibe, die durch die intermittierende Beleuchtung hervorgerufen wurden. Wir ersetzten den Episkotister durch einen Regulierwiderstand.

Für unsere Untersuchungen benutzten wir ein Stroboskop, konstruiert von Universitätsmechaniker Wingenbach. Das für unsere Versuche Wesentliche des Apparates bestand darin, daß zwei Metallscheiben durch ein Zahnradgetriebe so verbunden waren, so daß die eine Scheibe immer schneller rotierte als die andere. Bei unserem Apparat machte die eine Scheibe 9 Umdrehungen, während die andere nur eine machte. Auf die schneller rotierende Scheibe war unser schwarzes Sektorenrad auf weißem Untergrund befestigt, während an der anderen Scheibe gedreht wurde. Die Abb. 6, 7, 8 stellen unsere Ergebnisse dar. Die angegebenen Zahlen sind das Mittel aus je 5 Messungen. Die als Ordinaten in Abb. 6, 7, 8 angegebenen Zahlen sind die Zeiten in Sek., die die langsam rotierende Stroboskopscheibe braucht, um eine Umdrehung zu machen, ihr entsprechen 9 Umdrehungen der Sektorenscheibe.

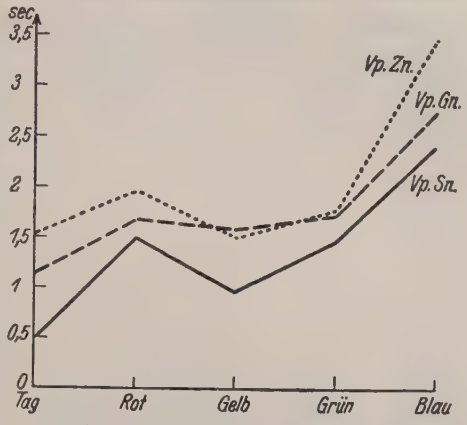


Abb. 5. Flimmerfrequenz bei Normalsichtigen in farbiger Beleuchtung

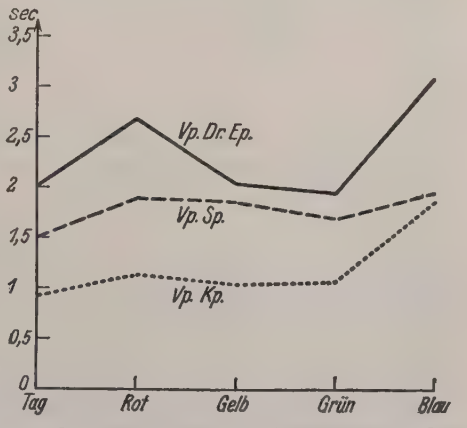


Abb. 6. Flimmerfrequenz bei Protanomalen in farbiger Beleuchtung

Das Ergebnis bei unseren Sehschärfeuntersuchungen, daß die Sehschärfe aller Typen bei Tageslicht innerhalb der normalen Grenzen liegt, finden wir bei unseren Versuchen über die Flimmerfrequenz bei Tageslicht bestätigt. Auch hier existiert keine Abnormität der Werte, dagegen zeigen sich Verschiedenheiten in der Verschmelzungsfrequenz bei verschiedenfarbiger Beleuchtung.

Bei den Deuteranotypen ist die Schwankung der Flimmerfrequenz normal, d. h. sie ist groß, während sie bei den Protanotypen gering ist. Das Sehen der Protanotypen in verschieden-

farbiger Beleuchtung weist wieder auf eine Annäherung im Verhalten der verschiedenen Lichtarten zueinander hin. Bei den anderen Typen herrscht eine starke Differenzierung. Den Fall eines Normalsichtigen stark ausgeprägten Synästhetikers (Vp. Vn.) möchten wir noch erwähnen. Seine Sehschärfenkurve zeigt einen hohen Schwankungsbereich, der über das Maß des Normalen noch hinausgeht. Die Zeiten in Sekunden für eine Umdrehung der langsam rotierenden Scheibe sind, für Tageslicht: 1,25; Rot: 2,75; Gelb: 1,95; Grün: 3,7; Blau: 4,8. H. Armbrecht hat diesen Typ ausführlich beschrieben.[1]

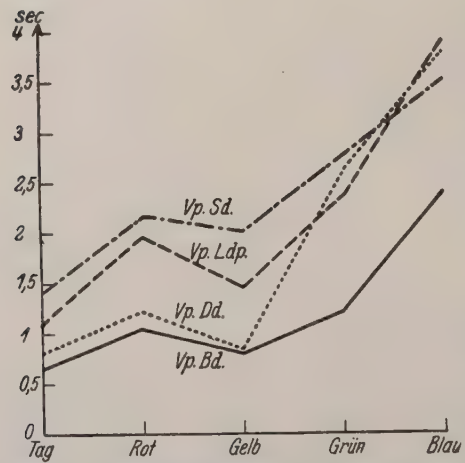

Abb. 7. Flimmerfrequenz bei Deuteranotypen in farbiger Beleuchtung

Diese Erkenntnis des normalen achromatischen Tagessehens der Protanotypen und des normalen Verhaltens weißem Lichte gegenüber wird uns für die Beurteilung unserer späteren Versuche von großem Wert sein.

Aber noch ein anderer Unterschied tut sich bei Vergleich der Kurven auf. Bei allen Vpn. ist die Verschmelzungsfrequenz im Tageslichtsehen am größten und im blauen Licht am geringsten. Das Verhalten in roter und grüner Beleuchtung zeigt jedoch beim Deuteranotypen und Protanotypen einen charakteristischen Unterschied. Während beim Deuteranotypen die Flimmerfrequenz im roten Licht größer ist als im grünen, zeigt der Protanotyp gerade umgekehrtes Verhalten. Es hängt dieses wieder mit der von Limper[1] angeschnittenen Frage zusammen, daß beim Deuteranotypen die Erkennbarkeit der Oberflächenstruktur, bzw. Formenerkennbarkeit im grünen Licht gegenüber der im roten Licht herabgesetzt ist, beim Protanotypen verhält es sich gerade umgekehrt.

Innerhalb des Erscheinungskreises des P. Ph. interessiert uns die Feststellung, daß das Formensehen in verschiedenfarbiger Be-

[1] E. R. Jaensch u. H. Armbrecht, Experimentell-strukturpsychologische Untersuchungen über den jugendlichen Synästhetikertyp (erscheint 1933). Langensalza.

leuchtung verschieden stark ausgeprägt ist und innerhalb unserer Typen große Unterschiedlichkeiten aufweist. In unseren zuletzt gemachten Versuchen über Sehschärfe und Flimmerfrequenz finden wir also eine Bestätigung des zuerst angestellten Versuchs über Formenerkennbarkeit, bei dem der Weißlichkeitszuwachs in Rot als ein Abrücken von der Weißlichkeitsverteilung im Sinne des P. Ph. aufzufassen ist. Beim Protanotypen war dieser Weißlichkeitszuwachs nicht groß, was auf eine geringe Einschaltung jüngerer Funktionsschichten hinweist; beim Deuteranotypen war er groß, so daß wir hier auf eine starke Einstellung auf jüngere Reaktionsschichten schließen können. Beim Protanotypen ist die Differenzierung der Funktionen noch nicht so stark eingetreten wie beim Normalen und Deuteranotypen.

## II. Kapitel

## Bewegungssehen

### Versuche über scheinbare Geschwindigkeit von Bewegungen

Wie die Arbeit von E. R. Jaensch und Stallmann, deren Fortbildung unsere Versuche darstellen, zeigt, ist das Dämmerungssehen für Formenerkennbarkeit wenig geeignet. Der „farbenblinde, nur zu unscharfer Formenerkennbarkeit befähigte Dämmerungsapparat“ [2] besitzt aber, wie die Literatur ausweist, eine gut entwickelte Bewegungswahrnehmung. Ebenso besteht ein Unterschied der Bewegungsempfindlichkeit bei zentralem und exzentrischem Sehen. „Es muß der Netzhautperipherie ein auffallend großes, zu ihrer geringen Sehschärfe in keinem Verhältnis stehendes Vermögen eigen sein, Bewegungen wahrzunehmen. — Daß dieses der Fall ist, geht aus Exners [3] Versuchen hervor“.[4] Die „Einstellung“ der Augen auf primordiale Reaktionen begünstigt also das Bewegungssehen und mindert das Formensehen. Da nun das P. Ph. auf die Einschaltung primordialer Funktionsschichten hinweist, nahmen wir uns als nächste Aufgabe vor, Versuche anzustellen

---

[1] Limper, Individuelle Unterschiede des Farbensinns. *Z. Psychol.* **121**, 178 (1931).

[2] W. Nagel in: „Zusätze“ z. physiol. Optik v. Helmholtz, 310. 3. Aufl.

[3] S. Exner, Die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. *Arch. f. Physiol.* **38**, 1 u. 2 (1886).

[4] v. Fleischl, Physiologisch optische Notizen. *Sitz.-Ber. d. Math.-nat. Kl. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch.* **87**, 252, 3. Abt.

über das Bewegungssehen in verschiedenfarbiger Beleuchtung bei Tages- und Dämmerungssehen, bei zentralem und peripherem Sehen.

Bei der Messung der scheinbaren Bewegungsgeschwindigkeit wurde folgendermaßen vorgegangen: Eine Kymographiontrommel wurde mit Papier überzogen, auf dem sich glanzlose mit schwarzer Tusche gezeichnete Striche befanden. Die Vp. nahm dann stets eine solche Stellung ein, daß bei roter Beleuchtung die Striche ohne Mühe zu erkennen und zu unterscheiden waren, während ihre Unterscheidung bei blauer Beleuchtung in geringem Maße möglich war. Es wurden dadurch Umstände geschaffen, die einer starken Einschaltung primordialer Schichten bei roter Beleuchtung zuwiderliefen. Den angegebenen Forderungen entsprach das in Abb. 8 abgebildete Dachziegelmuster.

Von den beiden Methoden, die scheinbare Geschwindigkeit einer Bewegung zu messen, nämlich durch Beobachtung mit stillstehendem oder mit bewegtem Auge, bevorzugten wir die erstere Methode; denn zur Befolgung der letzteren ist eine relativ große Fläche notwendig, über die das wandernde Auge der Bewegung folgen kann. Da aber wegen der starken Krümmung der Walze nur ein kleines Feld sichtbar gemacht werden konnte, verlor die Methode der Beobachtung mit bewegtem Auge für unsere Untersuchungen ihren Wert. Vor der Walze stand eine schwarze Pappe mit einem 12·35 mm großem Ausschnitt. Als Fixierzeichen hing in dessen Mitte an einem dünnen Haar ein Siegellackkügelchen. Der Schirm war so gestellt, daß er mit dem sichtbaren Teil der Trommel nahezu in einer Ebene zu liegen schien. Die Walze wurde von einem Motor in gleichmäßige, aber beliebig veränderbare Rotation versetzt. Die Vp. nahm in der oben angegebenen Weise vor dem Schirm Platz. Die Stellung der Lampen war, wie bei unseren Versuchen über Formenerkennbarkeit, rechts und links hinter der Vp. Es wurden nun anstelle des Dachziegelmusters zwei weiße Papiere dargeboten von derselben Weißlichkeit und Größe wie der Ausschnitt, und das rote und das blaue Licht wurden auf optimale gleiche Weißlichkeit gebracht durch Verschiebung eines Episkotisters, der den roten Strahlengang intermittierend unterbrach. Danach wurde die Trommel mit dem Muster dargeboten und in Bewegung gesetzt. Die Vp. beobachtete nun die Geschwindigkeit in roter und blauer Beleuchtung und versuchte dann, im Rot eine scheinbar gleiche Geschwindigkeit wie im Blau herzustellen. Dann wurden die verschiedenen objektiven Geschwindigkeiten gemessen, indem wir die Zeit feststellten, welche die Trommel brauchte, um drei volle Umdrehungen zu machen. Die Ergebnisse sind in Tab. 5 niedergelegt.

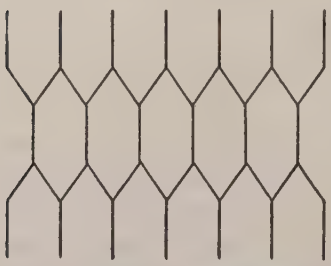

Abb. 8. Dachziegelmuster

Aus Tab. 5 folgt, daß bei Einstellung auf Gleichheit, d. h. unentschiedene Weißlichkeit der Farben, bei objektiv gleicher

Geschwindigkeit die scheinbare Geschwindigkeit im Blau wesentlich größer ist als im Rot, doch gilt dies nur für Normale und Deuteranotype. Hier sind die Differenzen der objektiven Geschwindigkeit bei roter und blauer Beleuchtung in normalen Grenzen. Die Erscheinung, daß die Zeichnung in Blau sich viel schneller zu bewegen scheint, hat die schlechte Erkennbarkeit zur Voraussetzung.

Tabelle 5

| Vp. | Scheinbar gleiche Geschw. bei einer objektiven Winkelgeschw. der Trommel in $\frac{\text{Grad}}{\text{Sek.}}$ bei direkter Beobachtung in | | |
|---|---|---|---|
| | Rot | Blau | Rotverdunkelung (+) Rotaufhellung (—) in Grad |
| Sn. | 11,56 | 10,81 | +16,5 |
| Gn. | 16,34 | 13,26 | +12 |
| Zn. | 17,61 | 15,74 | + 7,5 |
| Rn. | 19,86 | 16,01 | +13,5 |
| Dr. Ep. | 17,42 | 19,67 | — 6 |
| Sp. | 16,37 | 17,61 | — 3,3 |
| Kp. | 12,34 | 12,20 | + 1,5 |
| Ldp. | 16,37 | 13,21 | + 6,4 |
| Bd. | 20,74 | 17,31 | +16,5 |
| Dd. | 18,38 | 16,05 | +10,75 |
| Sd. | 19,61 | 15,73 | + 8,5 |

Wenn die Erkennbarkeit im Blau besser wurde, verminderten sich auch die Differenzen der objektiven Geschwindigkeiten. Es wurde stets darauf geachtet, daß die Bewegung auch wirklich gesehen wurde, so daß die Vpn. immer den Eindruck hatten, das vorbeigehende Muster zu sehen. Die Ergebnisse, die bei Konstanthaltung der Geschwindigkeit und Änderung der Weißlichkeit des roten Strahlengangs erhalten wurden, bestätigen ebenfalls, daß bei abnehmender Formenerkennbarkeit — in Rot — die Geschwindigkeit zu wachsen scheint.

Im Gegensatz zu den bei Normalen und Deuteranotypen gefundenen Ergebnisse stehen die der Protanotypen. Bei objektiv gleicher Geschwindigkeit ist hier in zwei Fällen die scheinbare Geschwindigkeit im Rot größer. Der dritte Fall verhält sich

qualitativ normal. In diesen Fällen liegt der Grund in der herabgesetzten Formenerkennbarkeit im Rot, wie wir bei der Flimmerfrequenz schon festgestellt haben, und wenn die Formenerkennbarkeit herabgesetzt ist, wird die Bewegungswahrnehmung gesteigert. Bei dem dritten Fall der Protanotypen ist zwar das Ergebnis in qualitativer Hinsicht normal, aber es ist eine große Annäherung der Empfindung zwischen roter und blauer Beleuchtung eingetreten.

Was das Bewegungssehen der Deuteranotypen in zentraler Betrachtung bei roter und blauer Beleuchtung anbetrifft, so haben wir festgestellt, daß die objektive Geschwindigkeit im Rot viel größer ist als im Blau, bzw. daß bei objektiv gleicher Geschwindigkeit ein Weißlichkeitszuwachs in Rot auftritt, dessen Voraussetzung die gute Formenerkennbarkeit ist. So weit unsere Versuche zeigen, haben wir normale Gegebenheiten. Auf ein ganz anderes Verhalten wiesen die Ergebnisse beim Protanotypen hin, hier liegt eine Annäherung, bzw. eine Umkehr der Werte vor, was wir uns daraus zu erklären haben, daß erstens beim Protanotypen die Differenzierung der Sehschichten noch auf primordialer Stufe stehen geblieben ist, und daß zweitens die Formenerkennbarkeit im Rot herabgesetzt ist. Nun verstehen wir auch, daß im Falle der Eindrucksgleichheit in Rot und Blau bei Darbietung der Tafeln 3. Sorte (Tab. 6) in einem Falle (Vp. Kp.) nicht das Rot abgeschwächt, sondern aufgehellt werden mußte. Der Grund liegt wieder in der herabgesetzten Formenerkennbarkeit in Rot beim Protanotypen.

Es findet also bei Bewegungssehen ein Widerstreit statt zwischen Formwahrnehmung und Bewegungseindruck. Dieser Wettstreit erfolgt bei allen Typen in größerem oder geringerem Maße, hinzu kommt noch beim Protanotypen die geringe Differenzierung der optischen Reaktionsschichten.

Sodann wiederholten wir den Versuch bei heller und gedämpfter farbloser Beleuchtung. Wir behielten bei diesen Versuchen die Winkelgeschwindigkeit in der gedämpften Beleuchtung annähernd konstant und variierten die Geschwindigkeit bei heller Beleuchtung so lange, bis der Eindruck gleicher subjektiver Geschwindigkeit erzielt war. Als Beleuchtungsquelle benutzten wir eine 25 Kerzenlampe, deren Strahlenkegel bei heller Beleuchtung ungehindert das Muster treffen konnte, während bei gedämpfter Beleuchtung ein absorbierendes Mittel, also Mattglasscheiben, vorgesetzt wurden. Die Ergebnisse stehen in Tab. 6.

Hier erhalten wir das Resultat, daß sich alle Typen bei zentraler Beobachtung in bezug auf das Bewegungssehen gleich ver-

halten, und zwar im Sinne des normalen Farbensystems. Die Annäherung der räumlichen Wahrnehmungen, wie sie beim Protanotypen in roter und blauer Beleuchtung und früher bei den Untersuchungen über die Flimmerfrequenz in Rot, Gelb, Grün und Blau vorliegt, findet in weißer, heller und gedämpfter Beleuchtung nicht statt.

Tabelle 6

Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei einer objektiven Winkelgeschwindigkeit in Grad/Sek. bei direkter Beobachtung

| Vp. | Lampe von 25 | Gedämpftes Licht |
|---|---|---|
| Sn. | 20,63 | 14,12 |
| Gn. | 24,93 | 14,24 |
| Rn. | 26,27 | 14,25 |
| Dr. Ep. | 19,34 | 14,73 |
| Sp. | 21,21 | 14,91 |
| Kp. | 20,64 | 14,19 |
| Ldp. | 19,98 | 14,34 |
| Bd. | 25,41 | 14,46 |
| Dd. | 20,45 | 15,03 |

Tabelle 7

Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Geschwindigkeit in Grad/Sek. bei

| Vp. | indirekter Betrachtung | direkter Betrachtung |
|---|---|---|
| Sn. | 18,03 | 24,24 |
| Gn. | 10,46 | 18,43 |
| Dn. | 14,10 | 17,26 |
| Dr. Ep. | 9,83 | 15,02 |
| Sp. | 14,75 | 16,34 |
| Kp. | 11,20 | 18,78 |
| Ldp. | 12,34 | 15,19 |
| Bd. | 8,31 | 10,74 |
| Dd. | 15,93 | 18,74 |

Bei dem jetzt folgenden Versuch haben wir nun die Verhältnisse des direkten und indirekten Sehens verglichen, und zwar bei farbloser Beleuchtung. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie oben. Rechts von dem Ausschnitt in der Entfernung von 4,5 cm war ein weißes Kreuz auf dem schwarzen Untergrund als Fixierzeichen angebracht. Die Vp. blickte

abwechselnd auf das Fixierkreuz und auf das Siegellackkügelchen, das in der Mitte des Ausschnitts hing, dabei änderten wir die objektiven Geschwindigkeiten solange, bis die Vp. den Eindruck gleicher Bewegungsempfindung hatte. Tab. 7 liefert uns die Ergebnisse.

Tab. 7 gibt die Auskunft, daß sich die Typen in direkter und seitlicher Beobachtung in weißer Beleuchtung nicht voneinander unterscheiden, die Werte fallen in normale Grenzen, und wir finden keine typische Verschiedenheit. Auch hierin liegt ein Hinweis darauf, daß das Verhalten der räumlichen Wahrnehmung bei farbiger und weißer Beleuchtung nicht in Parallele steht. Unsere Untersuchungen deuten auf eine Verschiedenheit der Reaktionsweisen hin.

## III. Kapitel

## Die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächengröße

Die im folgenden mitgeteilte Untersuchung steht, obwohl sie anscheinend dem Purkinjeschen Phänomen ferner liegt, in Beziehung zu diesem Tatsachenkreis, denn es hängt in entscheidendem Maße von den Unterschiedsschwellen ab, ob und unter welchen Bedingungen sich ein Sehobjekt vom Grunde abhebt.[1] Diese Untersuchungen behandeln insbesondere die Frage, inwieweit eine Abhängigkeit der Reizwerte leuchtender Objekte von der Flächengröße besteht.

Aubert[2] fand, daß er bei seinen Versuchen im Dunkelzimmer große Flächen schon bei geringerer Beleuchtung sehen konnte als kleine ebenso stark beleuchtete Objekte. In der Folge hat sich dann eine große Anzahl von Forschern mit dieser Tatsache beschäftigt und gesetzmäßige Beziehungen zwischen Lichtempfindlichkeit und Flächengröße des Reizobjektes aufzufinden gesucht; von älteren Autoren nennen wir Treitel[3], Riccò und Charpentier. In neuester Zeit haben dann Piper[4], Loeser[5], Henius[6] und Fujita[7] diese Frage von verschiedenen Gesichtspunkten aus bearbeitet.

[1] E. R. Jaensch, Das Purkinjesche Phänomen und Rayleighsches Gesetz. *Z. Psychol.* **106**, 253 (1928).

[2] Aubert, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.

[3] Treitel, Über das Verhalten der norm. Adaptation. *Graefes Arch.* **33**, 73 (1887), 2. Abt.

[4] H. Piper, Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen-, bzw. Winkelgröße. *Z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* **32**. 98 (1903).

[5] L. Loeser, Über die Beziehungen zwischen Flächengröße und Reizwert leuchtender Objekte bei fovealer Beobachtung. Beiträge zur Augenheilk. Festschrift f. Hirschberg. Leipzig 1905.

Die Beziehungen zwischen Lichtempfindlichkeit und Flächengröße sind in hell- und dunkeladaptiertem Zustand verschieden, sie unterscheiden sich ferner auch in der Fovea und Netzhautperipherie. Bei foveal gesehenen Objekten wächst nach Riccò in dunkeladaptiertem Zustand der Reizwert, gemessen an der Schwellenlichtintensität, proportional der Flächengröße, bei peripher abgebildeten dagegen mit der Wurzel aus der Flächengröße, wie die Versuche von Piper beweisen. Wesentlich anders liegen nun die Verhältnisse, wenn es sich um das Sehen mit helladaptiertem Auge handelt. Für leuchtende Flächen, deren Größe den fovealen Gesichtswinkel von $1^1/_2$—$2^0$ merklich überschreitet, ist überhaupt keine deutliche Abhängigkeit der Reizschwelle von der Winkelgröße zu konstatieren. Das Heruntergehen der Empfindlichkeit bei Winkeln unterhalb $2^0$ kann nur auf eine funktionelle Abhängigkeit von Reizschwellen und Flächengröße zurückgeführt werden, wie sie in den Versuchen von T. Fujita zum Ausdruck kommen.

Als Reizfläche diente uns die vordere Milchglasscheibe des Nagelschen Adaptometers. Um die verschiedenen Flächengrößen zu erhalten, hängten wir vor die Scheibe Pappkartons mit den Öffnungen 1 qcm, 6,95 qcm, 25 qcm und 100 qcm. Die Vp. saß in einer Entfernung von 40 cm vor dem Reizobjekt, wobei die Reizflächen unter folgenden Gesichtswinkeln erschienen: $1^0\,30'$; $3^0\,30'$; $7^0\,10'$; $14^0$. Zur Konstanthaltung der Entfernung diente der Vp. eine Kinnstütze. Als farbige Lichter wurden ein Rot, Gelb, Grün und Blau benutzt. Als Fixierzeichen beim exzentrischen Sehen hatten wir eine Taschenlampe in ein Pappkästchen so eingebaut, daß sie im dunkeln Zimmer als ein ganz schwacher Lichtpunkt aufleuchtete. Es befand sich 10 cm rechts von der Mitte der Schirmöffnung, d. h. die leuchtenden Objekte fielen auf eine Stelle $15^0$ rechts der Fovea.

Die benötigten Adaptationszustände wurden in folgender Weise hergestellt. Zur Helladaptation benutzten wir eine einfache Vorrichtung. Wir waren nämlich wegen des trüben Lichtes im Winter genötigt (ähnlich wie Henius), teilweise bei künstlicher Helladaptation zu untersuchen. Eine Kombination von 3 Tageslichtbirnen und einer Milchglasbirne, verbunden mit dem Tageslicht, erzeugte eine solche Beleuchtung, daß die Vpn. immer erstaunt waren, als sie in das Zimmer traten und bei Öffnen der Türe den Eindruck hatten, es sei Sonnenlicht. Zudem ließen wir die Vp. auf eine große weiße Fläche blicken, so daß wir Garantie für eine gute Helladaptation

[6] K. Henius, Die Abhängigkeit der Lichtempfindung von der Flächengröße . . unter den Bedingungen des Tages- und Dämmerungssehens. *Z. Sinnesphysiol.* **43**, 150 (1909).

[7] T. Fujita, Versuche über die Lichtempfindlichkeit der Netzhautperipherie. *Z. Sinnesphysiol.* **43**, 234 (1909).

hatten. Vorversuche, die zur Prüfung dienten, ob an verschiedenen Tagen dieselben Reizwerte erzielt würden, bestätigen dieses in gutem Maße.

Beobachtet wurde stets binokular, der Schwellenwert wurde immer von überschwelligen und von unterschwelligen Werten her eingestellt und der Mittelwert als Ergebnis notiert.

Wenden wir uns nun den Untersuchungen im helladaptierten Zustand zu. Tab. 8 und 9 enthalten unsere Resultate. Bei einem Versuche wurden stets immer nur zwei Werte ermittelt: ein Schwellenwert bei zentraler und bei peripherer Betrachtung für ein Reizobjekt (Flächengröße). Nach dem Versuch wurde das Auge wieder hell adaptiert und die gefundenen Zahlen an 5 verschiedenen Messungen geprüft. Der Mittelwert ist in den Tabellen niedergelegt.

Tabelle 8

Helladaptation

| Vp. | Schwellenwerte bei einer Flächengröße von | | | | Anzahl der Birnen |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 qcm | 6,25 qcm | 25 qcm | 100 qcm | |
| | in zentraler Beobachtung | | | | |
| Sn. | 120 | 120 | 110 | 100 | 2 |
| Zn. | 1500 | 1600 | 1400 | 1400 | 1 |
| Dr. Ep. | 220 | 210 | 200 | 295 | 2 |
| Lpp. | 300 | 300 | 260 | 240 | 2 |
| Sp. | 1400 | 1400 | 1350 | 1100 | 1 |
| Kp. | 250 | 230 | 220 | 205 | 2 |
| Dr. Rdp. | 560 | 550 | 500 | 500 | 2 |
| Ldp. | 1600 | 1450 | 1400 | 1400 | 1 |
| Bd. | 190 | 170 | 160 | 160 | 2 |
| Sd. | 130 | 125 | 105 | 105 | 2 |

Die Untersuchungen wurden so ausgeführt, daß wir stets mit dem kleinsten Reizobjekt begannen und mit dem größten endeten. Eine geringe Dunkeladaptation, die durch die wiederholten Dunkelaufenthalte hätte entstehen können, wäre nur insofern von Einfluß gewesen, daß sie im Sinne einer eventuellen Abhängigkeit der Intensität von der Flächengröße hätte wirken können.

Die von uns gefundenen Ergebnisse sind durchweg übereinstimmend. Man kann den Einfluß der Größe des Objektes auf seinen Reizwert für die helladaptierte Netzhaut foveal und peripher als minimal betrachten oder gleich Null setzen; dieses gilt für alle Typen.

Charakteristisch ist, daß beim peripheren Sehen die Schwellenintensität größer ist als beim zentralen. Das liegt daran, daß im

Hellsehen die Netzhautgrube für Helligkeiten empfindlicher ist als die Peripherie. Allerdings besteht in unseren Versuchen eine Ausnahme. Bei Vp. Sp. ist dieses Verhalten gerade umgekehrt, und die Differenz ist ganz erheblich. Sie empfindet also die Lichtreize wie ein Auge im Dämmerungssehen. Bei diesem einen Versuch verhält sich diese Vp. abweichend von den andern. Wir wagen es darum nicht, sie deshalb schon als einen Stäbchenseher zu bezeichnen; wahrscheinlich bestehen auch hier gleitende Übergänge.

Tabelle 9

Helladaptation

| Vp. | Schwellenwerte bei einer Flächengröße von | | | | Anzahl der Birnen |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 qcm | 6,25 qcm | 25 qcm | 100 qcm | |
| | in peripherer Beobachtung | | | | |
| Sn. | 200 | 220 | 300 | 220 | 2 |
| Zn. | 1850 | 1600 | 1700 | 1300 | 1 |
| Dr. Ep. | 310 | 290 | 280 | 280 | 2 |
| Lpp. | 350 | 340 | 300 | 280 | 2 |
| Sp. | 950 | 850 | 766 | 675 | 1 |
| Kp. | 400 | 380 | 375 | 370 | 2 |
| Dr. Rdp. | 620 | 605 | 600 | 600 | 2 |
| Ldp. | 2100 | 2000 | 1980 | 1900 | 1 |
| Bd. | 300 | 280 | 290 | 285 | 2 |
| Sd. | 260 | 250 | 250 | 240 | 2 |

Nachdem wir uns nun von der Konstanz der Schwellenwerte des Hellauges für die verschieden großen Reizobjekte überzeugt hatten, gingen wir dazu über, dieselben Versuche bei farbig durchleuchteten Reizen zu machen. Wir setzten zu diesem Zweck eine rote, gelbe, grüne und blaue Scheibe vor das Milchglasfenster des Nagelschen Adaptometers.

Bei diesen Versuchen im farbigem Licht zeigte sich eine Unterschiedlichkeit im Verhalten der Normalen, Deuteranotypen und Protanotypen. Während für die ersten die Schwellenintensität bei farbigem Reiz gegenüber der Flächengröße invariant war, bestand für Protanotype eine Abhängigkeit beider Koordinaten voneinander. Mit wachsender Flächengröße sank die Intensität des Reizes; qualitativ in derselben Form, in der Piper die Ab-

hängigkeit beider Werte für die dunkeladaptierte Netzhautperipherie fand (Intensität · Wurzel aus Flächengröße = Konstanz).

Wenn allerdings das Blau sehr weißlich war, erfolgte eine Annäherung an das Sehen bei weißen Reizobjekten, was uns gar nicht verwunderlich scheint.

Zur Erläuterung des Verhaltens der verschiedenen Typen bilden wir ganz formal das Produkt Intensität · Wurzel aus Flächengröße ($J \cdot \sqrt{F}$). Tab. 10 und 11 zeigen uns die Werte, die wir bei einem Deuteranopen und einem Protanopen gewonnen haben.

Tabelle 10 (Vp. Dr. Rdp.)

Die Produkte $J \cdot \sqrt{F}$ in

| Rot | Gelb | Grün | Blau | $\sqrt{F}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1200 | 80 | 500 | 250 | 1 |
| 2750 | 200 | 1125 | 500 | 2,5 |
| 5000 | 400 | 1750 | 750 | 5 |
| 10000 | 800 | 4000 | 1500 | 10 |

Tabelle 11 (Vp. Lpp.)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5000 | 130 | 250 | 550 | 1 |
| 7000 | 250 | 300 | 1000 | 2,5 |
| 12000 | 300 | 400 | 1400 | 5 |
| 9000 | 400 | 500 | 2400 | 10 |

In beiden Fällen nehmen die Produktwerte zu mit zunehmendem $\sqrt{F}$, doch zeigt die Schnelligkeit und das Ausmaß der Zunahme große Unterschiede. Beim Deuteranopen werden die Werte schnell größer und der Unterschied von Anfangsprodukt und Endprodukt ist groß. Im Gegensatz hierzu steigen die Werte beim Protanopen langsam, und der Unterschied beider genannter Produktwerte ist gering. Die Verhältnisse von Anfangs- zu Endprodukt nehmen in Rot, Gelb, Grün und Blau folgende Werte an, für den Deuteranopen: $^1/_9$, $^1/_{10}$, $^1/_8$, $^1/_6$, für den Protanopen: $> {}^1/_2$, $> {}^1/_3$, $^1/_2$, $\approx {}^1/_4$. Wichtig ist noch zu betonen, daß der Gesichtswinkel unserer Reizobjekte zwischen $1^0\,30'$ und $14^0$ lagen. Bei kleineren Reizflächen bzw. Gesichtswinkeln müßten sich auf Grund der Literatur andere Gesetzmäßigkeiten ergeben.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß bei allen Typen die Abhängigkeit der Schwellenintensität von der Reizgröße bei weißen Reizflächen im helladaptierten Zustand gering oder gleich

Null ist. Bei farbigen Reizflächen haben wir dasselbe Verhalten beim Normalen und Deuteranotypen, beim Protanotypen dagegen zeigt sich eine Abhängigkeit. Der letztere erweckt den Eindruck, als ob er mit zum Teil dunkeladaptiertem Auge sähe, denn es liegt bei ihm eine Annäherung an das Pipersche Gesetz vor.

Wir haben beim Protanotypen einen ähnlichen Fall der verschiedenen Reaktionsweisen bei Reizung des Sehorgans mit weißem und farbigem Licht wie beim Bewegungssehen, bei der Flimmerfrequenz und bei der Sehschärfe. Alle diese Tatsachen weisen auf eine verschiedene Reaktion des Sehorgans und der Funktionsschichten hin, je nachdem chromatisches oder achromatisches Licht das Auge trifft.

## IV. Kapitel
## Adaptationskurven

Da das Purkinjesche Phänomen sehr stark die verschiedene Einschaltung der optischen Funktionsschichten beim Übergang von Hell- zu Dunkeladaptation anzeigt, so war es für uns von Interesse zu untersuchen, ob die Adaptationsfähigkeit Verschiedenheiten aufwiese in bezug auf die verschiedenen Typen, bei denen wir eine unterschiedliche Ausprägung des P. Ph. gefunden hatten.

A. Tschermak[1] hat zu wiederholten Malen die Vermutung ausgesprochen, daß die Adaptationsfähigkeit bei den verschiedenen Typen des Farbensinns besondere Eigentümlichkeiten aufweist. „Ebenso sei die Frage offen gelassen, ob die Typen des Farbensinns mit den beiden im Verlauf und in der Breite der Dunkeladaptation festgestellten Typen verknüpft sind, und zwar Gelblichtsichtigkeit mit rascher und umfangreicher Empfindlichkeitssteigerung, Blaulichtsichtigkeit mit langsamer und beschränkter".[2] „Angesichts der großen individuellen Verschiedenheiten (anscheinend auch Altersverschiedenheiten) des Adaptationsvermögens, bezüglich dessen im Wesen zwei Tvpen, entsprechend der Gelblichtsichtigkeit und der Blaulichtsichtigkeit Herings zu bestehen scheinen, dürfte die Differenz der Beobachtungsresultate nicht so sehr auf die zum Teil verschiedene Methodik als vielmehr auf eine individuelle, bzw. typische Verschiedenheit der Beobachter

[1] A. Tschermak, Über physiologische und pathologische Anpassung des Auges. Vortrag. Leipzig 1900. S. 10.

[2] Derselbe, Licht- und Farbensinn. S. 361. Handbuch der norm. u. path. Physiologie **12**, Heft 1 u. 2. Berlin 1926 bis 1931.

zu beziehen sein".[1] „Nur nebenbei sei bemerkt, daß die Annahme einer Koppelung von Farbensinntypus und Adaptationstypus durchaus nicht eine Zurückführung des ersteren auf den letzteren bedeutet"[2] (was Tschermak niemals vertreten hat). W. Nagel[3] sagt, daß „sich die Angabe Tschermaks, daß den verschiedenen Typen des Farbensinns besondere Eigentümlichkeiten der Adaptation entsprechen, nicht bestätigt" hat. „Es steht vielmehr fest, daß das Adaptationsvermögen mit dem Typus des Farbensystems nichts zu tun hat und normale sowie anomale Trichromaten hierin mit den partiell Farbenblinden (Dichromaten) übereinstimmen".

Durch diese widersprechenden Ansichten war natürlich für uns das Interesse groß zu untersuchen, wie sich unsere Ergebnisse zu dieser Gegensätzlichkeit stellen würden.

Auf die einschlägigen Begriffe und Bedingungen einzugehen, erübrigt sich. Wir verweisen auf die Literatur: Aubert[4], Hering[5], Honigmann[6], Katz[7], Walker[8] und Piper.[9]

Die Feststellungen der Empfindlichkeitssteigerung bei fortschreitender Dunkeladaptierung wurden ausgeführt mit dem von W. A. Nagel zuerst ausführlich beschriebenen und nach ihm benannten Nagelschen Adaptometer.

Bei Aufstellen der Adaptationskurven muß dafür gesorgt werden, daß immer dieselbe Stelle der Netzhaut (Fovea) gereizt wird. Denn es bestehen in bezug auf die Adaptation lokale, retinale Unterschiede insofern, als im gut dunkeladaptierten Auge die Empfindlichkeit des Netzhautzentrums eine weit geringere ist als die der mehr oder weniger exzentrischen Partien. Wir ließen die helle Fläche in einer konstanten Entfernung von 57 cm be-

---

[1] A. Tschermak, *Pflügers Arch.* **82**, 589 (1900).

[2] Derselbe, Licht- und Farbensinn. S. 361, Anm. 3. Handbuch der norm. u. path. Physiologie **12**, Heft 1 u. 2. Berlin 1926 bis 1931.

[3] W. Nagel, Zusätze zur physiologischen Optik. S. 272.

[4] H. Aubert, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. S. 25.

[5] E. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. S. 18.

[6] K. Honigmann, Untersuchungen über die Lichtempfindlichkeit und Adaptierung des Vogelauges. *Pflügers Arch.* **89**, 5 (1921).

[7] D. Katz, Die Erscheinungsweisen der Farben. *Z. Psychol.* Erg.Bd. **7**, (1911).

[8] W. Walker, Über die Adaptationsfähigkeit der Jugendlichen und ihre Beziehung zu den Transformationserscheinungen. *Z. Psychol.* **103**, 323 (1927).

[9] H. Piper, Über Dunkeladaptation. *Z. Sinnesphysiol.* **31**, 161 (1903).

trachten. Die kreisförmige Scheibe erschien so unter einem Winkel von 10°. Die Schwellen wurden immer in Unterbrechungen von 2—5 Minuten gemessen, und zwar stellten wir die Zahlen fest, indem wir von überschwelligen und von unterschwelligen Werten kamen. Als Ergebnis notierten wir den Zwischenwert.

Unsere ersten Versuche wurden in den Sommerferien an Deuteranomalen, Deuteranopen und einem Protanomalen in Kirchhain gemacht. Wir hatten diese Farbensinntypen bei einer Untersuchung der dortigen Mittelschule zusammen mit Herrn Dr. Limper festgestellt. Die Ergebnisse wurden in Kurvenform dargestellt, und zwar wählten wir als Abszissen die Zeit und als Ordinaten die Empfindlichkeitswerte (E), die wir durch folgende Gleichung ermittelten: $E = \log 108/R$, wobei R der Reizwert bedeutet. Wir benutzten also die Bestsche Darstellung der Adaptationskurven.

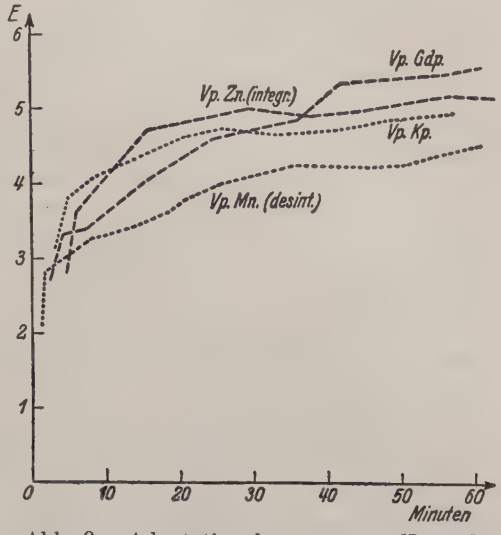


Abb. 9. Adaptationskurven von Normalsichtigen, eines Deuteranopen und eines Protanomalen

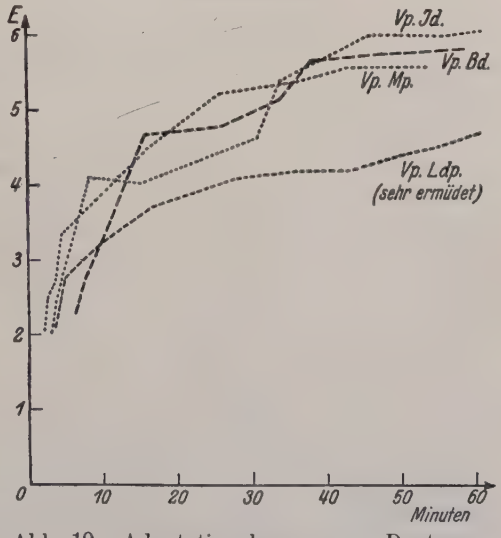


Abb. 10. Adaptationskurven von Deuteranotypen

Unsere Ergebnisse enthalten Abb. 9 und 10, in die wir noch eine Protanomalenkurve (Kp) eingezeichnet haben. Die Adaptationskurven eines Integrierten (Zn) und eines Desintegrierten (Mn) sollen nur Vergleichszwecken dienen.

Wie Abb. 9 und 10 ausweisen, können wir den Deuteranotypen und Protanotypen nicht zwei typische Adaptationskurven zuschreiben. Die Kurven der Protanomalen liegen unregelmäßig zwischen denen der Deuteranotypen. Der Adaptationsverlauf der anomalen Farbensinntypen ist untereinander ähnlich und eine Verschiedenheit, wie sie zwischen Integrierten und Desintegrierten besteht, deren Adaptationskurven wir zum Vergleich auch eingezeichnet haben, liegt hier nicht vor. Es ergibt sich somit wieder die interessante Tatsache, daß, obwohl der Farbensinn der Deuteranotypen und Protanotypen große Unterschiede aufweist, der Adaptationsverlauf vollständig normal ist. Weißes Licht und Farben werden also in getrennten Funktionsschichten aufgenommen. Eine Anomalie in der Farbenperzeption und in der Farbenreaktionsschicht braucht nicht eine gleiche in den Sehschichten für weißes Licht zur Folge zu haben.

Der Verlauf der Adaptationskurven weist aber auf eine hohe Integration hin. Die später folgenden Nachbildversuche, die Ergebnisse an der Exnerschen Spirale, die Müller-Lyersche Täuschung und der enge persönliche Verkehr mit unseren Vpn. lassen uns unsere Vpn. dem integrierten Menschentypus zuordnen. Wir wollen nicht den geringsten Anschein erwecken, als wollten wir die einzelnen Farbensinntypen den menschlichen Grundformen unterordnen. Nur das eine möchten wir bemerken, daß alle unsere Vpn. dem mehr oder weniger stark ausgeprägten integrierten Menschentyp angehören. Nach alledem erwecken die Protanotypen den Eindruck, im Sehen auf einer primordialen Stufe zu verharren, während die Deuteranotypen eine ungleichmäßige Differenzierung zeigen, indem gewisse Seiten des Farbensinns über die Norm hinaus differenziert sind, andere dagegen unternormal geblieben sind. Man gewinnt bei der genaueren Bekanntschaft der Persönlichkeit den Eindruck, daß diese Erscheinungen im Farbensinn für den Gesamtaufbau der Persönlichkeit in gewisser Hinsicht symptomatisch sind. Die Protanotypen erwecken den Eindruck, entweder überhaupt auf einem primitiven Stadium zu verharren oder bei guter Veranlagung dieselben weiterzubilden, wobei dann die Persönlichkeit in Anlage kindliche Züge behält. Die Werte und Leistungen solcher Persönlichkeiten beruhen, wie es scheint, auf der Weiterbildung der kindlichen Art. Dagegen finden wir unter Deuteranotypen sehr differenzierte Menschen. Vielleicht mögen auch viele der bekannten

Persönlichkeiten, die wie z. B. Röntgen, farbenblind gewesen sind, vorzugsweise diesem Typus angehören. Inwieweit auch hier dann Ungleichförmigkeit in der Differenzierung besteht, wird sich nicht leicht feststellen lassen, wie auch die Andeutungen über die Gesamtpersönlichkeit nur mit großer Vorsicht gegeben werden können, da das verhältnismäßig seltene Vorkommen bedingt, daß das Material doch im allgemeinen nicht ausreicht, um hier zu sicheren Entscheidungen zu gelangen. Immerhin wollten wir darauf hinweisen, daß es von Wichtigkeit wäre, in Zukunft bei der Untersuchung solcher Fälle nicht nur auf den Farbensinn, sondern auch auf die Gesamtpersönlichkeit zu achten.

Die Frage, ob den Anomalen und Farbenblinden charakteristische Adaptationskurven entsprechen, beantwortet sich dahin, daß eine derartige Beziehung nicht besteht. Die Adaptationskurven aller Menschen verlaufen zwischen den der total nach außen hin Integrierten und den der stark nach außen hin Desintegrierten mit verschiedener Annäherung oder Übereinstimmung mit dem einen oder dem anderen Extrem. Der Verlauf der Adaptationskurven ist also nur bestimmt durch die Zugehörigkeit des Menschen zu dem einen oder dem anderen Typ, oder durch die verschiedene Stellung auf der die beiden Typen verbindenden charakterologischen Skala. Diese Gesetzmäßigkeit gilt bis auf eine Ausnahme, deren Grund nicht in der typologischen Zugehörigkeit liegt, sondern in einer physiologischen bzw. anatomischen Störung zu suchen ist, die wahrscheinlich als materielles Korrelat, verbunden mit zentralen Faktoren, in einem abnormen Aufbau der Funktionsschichten begründet ist. Diese pathologischen Fälle sind als Symptom mancher Augenerkrankungen, als sog. Nachtblindheit oder Hemeralopie bekannt. Bei dieser Störung ist das Adaptationsvermögen stark beeinträchtigt, und zwar kann entweder die Dunkeladaptation nur verzögert sein, so daß die normalerweise in einer halben Stunde erreichten Empfindlichkeitswerte erst nach mehrstündigem Lichtabschluß erreicht werden, oder die Adaptationsbreite ist mehr oder weniger stark eingeschränkt, und die Patienten lassen dann auch nach längerem Dunkelaufenthalt nur eine mäßige Zunahme der Lichtempfindlichkeit erkennen. Bei höheren Graden ist sowohl die Adaptationsbreite wie die Adaptationsgeschwindigkeit vermindert. Auch bei ganz extremen Fällen — und das ist theoretisch sehr bedeutsam — pflegt die foveale Schwelle im Zustand der Helladaptation ganz oder fast ganz normal

zu sein. Gelegentlich fällt bei Hemeralopen eine Herabsetzung der Empfindlichkeit für blaues Licht auf, besonders im fovealen Sehen. Während er nach einigem Dunkelaufenthalt (von 10 bis 20 Minuten) einem ebenso langen dunkeladaptierten normal Sehenden an Empfindlichkeit gegen gemischtes farbloses Licht auf überfovealer Fläche weit nachsteht, ist die Schwelle für rotes Licht bei leichten Graden gar nicht, bei mittleren Graden nur ganz wenig höher als für den Normalen.

Hiermit steht im Zusammenhang, daß das P. Ph. für den Hemeralopen weit weniger deutlich auftritt als für den Normalen. In vorgeschrittenen Fällen von Pigmentatrophie der Netzhaut, die stets mit Nachtblindheit einhergeht, kann das Dämmerungssehen vollständig vernichtet sein; das P. Ph. ist dann überhaupt nicht vorhanden.[1]

Wir haben den Fall der Hemeralopie außerhalb unserer Untersuchungen berührt, weil er uns ein interessantes Beispiel dafür ist, wie pathologische Einwirkungen innerhalb des Sehapparates genetisch ältere Schichten beeinflussen können bis fast zum vollständigen Abbau. Nebenher geht dann allerdings immer eine mehr oder weniger starke Schädigung der jüngeren Funktionen. Im allgemeinen aber ist es so, daß das Primordiale das Resistentere ist, und der Abbau bei den jüngeren Funktionen beginnt; hier liegt der umgekehrte Fall vor. Wichtig ist aber, daß der Störung des „Dämmerungsapparates“ immer ursächlich eine pathologische Beeinträchtigung des Sehorgans parallel geht, wie es z. B. bei der Pigmentatrophie, Sehnervenatrophie, starkem Atherom der Aderhaut und der Netzhautgefäße, Retinitis pigmentosa usw. der Fall ist. Ferner haben wir in diesen Fällen wieder die Bestätigung, daß Farben und achromatische Lichtperzeption in getrennten Funktionsschichten vor sich gehen.

Unsere Arbeit gründet sich auf die Unterscheidung zweier wesenhaft verschiedener Schichten im Farbensinn, die durch die Bezeichnung des Tages- und Dämmerungssehens oder des Purkinjeschen Phänomens daraus noch nicht ihrem ganzen Umfang nach charakterisiert sind.

[1] Vgl. Messmer, Über die Dunkeladaptation bei Hemeralopie. *Z. Sinnesphysiol.* **42**, 83 (1907). — C. v. Hess, Untersuchungen über Hemeralopie. *Arch. Augenheilk.* **42**, 215 (1908). — F. Best, Über die Nachtblindheit. *Graefes Arch.* **97**, 176 (1918).

Unsere Untersuchungen über Formensehen, Sehschärfe, Flimmerfrequenz, Bewegungssehen und die Feststellungen der Adaptationskurven und die Abhängigkeit der Schwellenintensität von der Flächengröße zeigen ein durchgehend übereinstimmendes Verhalten innerhalb je einer Gruppe der Farbensinntypen. Die Untersuchungen ergaben, daß bei den einzelnen Farbensinntypen innerhalb der Farbenreaktionsschichten das Purkinjesche Phänomen und der ganze mit ihm zusammenhängende Erscheinungskomplex in verschieden hohem Grade auftreten. Hinsichtlich des Purkinjeschen Phänomens steht der Normale zwischen dem Deuteranotypen und dem Protanotypen, allerdings mit großer Annäherung an den Deuteranotypen. — Die Bezeichnung Deuteranotype (Protanotype) wollen wir dann anwenden, wenn sich Deuteranomale und Deuteranope (Protanomale und Protanope) gleich verhalten.

Das chromatische Sehen der Deuteranotypen im Tageslicht zeigt ein Verhalten im entgegengesetzten Sinne des Purkinjeschen Phänomens, sogar über den normalen Bereich hinaus. Das chromatische Sehen der Protanotypen vollzieht sich dagegen ganz im Sinne des Purkinjeschen Phänomens. Wir können also in bezug auf dieses Ergebnis zusammenfassend sagen, daß beim Deuteranotypen die Tatsachen im Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens auf eine starke Differenzierung der optischen Funktionen hinweisen, während sie beim Protanotypen noch auf einer primordialen Stufe stehen geblieben sind. Hinsichtlich der Einschaltung der Funktionsweisen sind beim Deuteranotypen jüngste Reaktionsschichten in Tätigkeit beim Protanotypen dagegen ältere.

# Lebenslauf

Am 24. Januar 1908 wurde ich, Karl Schönewald, zu Marburg an der Lahn geboren. Mein Vater, Heinrich Schönewald, war zur Zeit Polizeiwachtmeister und übernahm später eine Stelle als Vollziehungsbeamter der Stadt Marburg. Vom sechsten bis zehnten Lebensjahre ging ich zur hiesigen Volksschule, und nach 9jährigem Besuch der Oberrealschule in Marburg erhielt ich Ostern 1927 das Reifezeugnis. Seit dieser Zeit studiere ich an der Philipps-Universität Marburg. Meine Studienfächer sind: Philosophie mit Psychologie, Mathematik, Physik — vor allem der theoretische Teil — und Geographie.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren: Grüneisen, Hensel, Jaeck, E. R. Jaensch, Krafft, Mortensen, Neumann, Rehmke, F. A. Schulze, Schultze (Jena), Tomaschek.

Ihnen allen, insbesondere aber Herrn Prof. Jaensch, bin ich zu aufrichtigem Dank verpflichtet.